

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет біотехнології і біотехніки**

**Кафедра біотехніки та інженерії**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.М. Мельник

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування**

**на тему: «Екстракція олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи БІ-71мн

Остапенко Жанна Ігорівна \_\_\_\_\_

Керівник:

Доктор технічних наук, професор

Карачун В. В. \_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет біотехнології і біотехніки**  
**Кафедра біотехніки та інженерії**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою.  
Спеціальність (спеціалізація) – 133 «Галузеве машинобудування» («Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ В. М. Мельник  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Остапенко Жанни Ігорівни**

1. Тема дисертації: «Екстракція олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку», науковий керівник дисертації Карачун Володимир Володимирович, затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Строк подання студентом дисертації \_\_\_\_\_
3. Об'єкт дослідження: акустичний екстрактор виробництва олії з рослинної сировини.
4. Предмет дослідження: вплив ультразвуку на процес екстракції олії із рослинної сировини різного походження.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідження стану проблеми за темою дисертації, провести літературний аналіз; провести експериментальні дослідження екстракції олії з рослинної сировини; розробити математичну модель процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку; розробити математичну модель процесу екстракції олії в акустичному



екстракторі; розробити комп'ютерну модель акустичного екстрактора; провести конструктивний акустичного екстрактора; розробити стартап-проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Лінія виробництва соєвої олії. Апаратурно-технологічна схема (А1); Екстрактор акустичний. Складальне креслення (А1); креслення складальних одиниць (Кришка (А3), Днище (А3), Корзина (А3)); плакати за темою магістерської дисертації.

7. Орієнтовний перелік публікацій: Математичне моделювання гідродинаміки та масообмінних процесів при екстракції БАР з рослинної сировини; Математичне моделювання масообміну у віброакустичному екстракторі; Циркуляційно-акустичний екстрактор; Експериментальні дослідження процесу екстракції в умовах ультразвуку; Математичне моделювання процесу екстракції олії з рослинної сировини; Research of influence of ultrasound on the extraction process of vegetable oil.

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Літературний огляд. Дослідження стану проблеми	4.02.19 – 16.02.19	
2.	Експериментальні дослідження	17.02.19 – 24.02.19	
3.	Обробка експериментальних досліджень. Побудова кінетичних залежностей.	25.02.19 – 28.02.19	
4.	Математичне моделювання процесу.	01.03.19 – 13.03.19	
5.	Патентний пошук. Розроблення конструкції акустичного екстрактора	14.03.19 – 19.03.19	
6.	Комп'ютерне моделювання акустичного екстрактора.	20.03.19 – 26.03.19	
7.	Практична реалізація. Оформлення креслень та документації на акустичний екстрактор.	27.03.19 – 14.04.19	
8.	Розробка стартап-проекту.	15.04.19 – 21.04.19	
9.	Оформлення пояснювальної записки. Розробка плакатів за темою магістерської дисертації.	22.04.19 – 08.05.19	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

УДК 636.631.223.018

**Екстракція олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку**

Магістерська дисертація: 153 с., 27 табл., 42 рис., 71 джерело

З огляду збільшення техногенного навантаження на навколишнє середовище та загрозу вичерпності невідновлюваних природних ресурсів на сьогоднішній день виникла необхідність створення та впровадження в виробництво ресурсозаощадних енергоефективних та екологічно безпечних технологій.

Однією з проблем на вирішення якої направлені інноваційні методи і технології є максимальне вилучення корисних продуктів з сировини. Зокрема це стосується виробництва олій, які знаходять своє застосування не лише як необхідний продукт харчування, але і як сировина для створення біопалив.

На основі проведеного аналізу літературних джерел встановлено, що для інтенсифікації процесу екстракції олії з рослинної сировини використовуються різноманітні фізичні фактори, але найбільш перспективним є ультразвук.

Об'єкт дослідження: акустичний екстрактор виробництва олії з рослинної сировини.

Предмет дослідження: вплив ультразвуку на процес екстракції олії із рослинної сировини різного походження.

Мета дослідження: встановлення кінетичних залежностей і коефіцієнтів дифузії, що характеризують протікання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку і розробка акустичного екстрактора.

Для промислового використання екстракції олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку необхідно встановити фактори, що впливають на інтенсифікацію процесу та максимальне вилучення цільових компонентів із сировини. Одним з методів для визначення параметрів процесу екстракції є експериментальне дослідження кінетики екстрагування. Визначення кінетичних

закономірностей процесу екстрагування і коефіцієнтів переносу дають змогу провести технологічні розрахунки процесу і обладнання.

Експериментальні дослідження процесу екстрагування олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку проводились на експериментальній установці заглибним блоком ультразвукових випромінювачів УЗП-6-1 (Медпромприлад, Україна). Для вивчення впливу ультразвуку на процес екстракції олії проводились дослід з використанням ультразвукової установки та без неї з подрібненим насінням льону та соєвим жмихом. Екстракція олії з насіння льону проводилась екстракційним бензином та метиленхлоридом, а для соєвого жмиху – метиленхлоридом.

В результаті дослідження кінетики екстракції олії з жмиху сої в умовах ультразвуку і без дії ультразвуку побудовані залежності частки вмісту олії у вилученій місцелі. Дані кінетичні залежності використані для визначення коефіцієнтів дифузії при протіканні процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку.

Складено математичну модель процесу, в якій основною структурною одиницею речовини є клітина. Дана математична модель використовується для визначення коефіцієнта дифузії олії через клітинну оболонку та коефіцієнта дифузії в міжклітинному середовищі на основі обробки експериментальних даних кінетики процесу екстракції в умовах ультразвуку і без нього.

Проведений теоретичний аналіз технологічних особливостей процесу екстракції олії з рослинної сировини в акустичному екстракторі. Розроблена математичну модель процесу екстракції олії з рослинної сировини в акустичному екстракторі. На основі розв'язання математичної моделі встановлена тривалість процесу екстракції олії з рослинної сировини.

Розроблена 3-D модель акустичного екстрактора та його конструктивних елементів. Виконані розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції, розроблені креслення акустичного екстрактора та його складальних одиниць.

Представлена бізнес-ідея виробництва рослинної олії з використанням акустичного екстрактора. Проведений аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства показав, в якому напрямку необхідно здійснювати рух підприємству для досягнення успішності.

Дослідження за допомогою методу Бове показали, що запропонована розробка відноситься до зони “Готові обійти”, тому що завдяки інноваційній ідеї розробка може конкурувати з лідерами на ринку.

Ринок збуту включає п’ять великих промисловостей – хімічні, харчові, лакофарбові, металообробні, ливарні підприємства.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АКУСТИЧНИЙ ЕКСТРАКТОР, РОСЛИННА ОЛІЯ, ЕКСТРАКЦІЯ, ГЕНЕРАТОР УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ.

## ABSTRACT

UDC 636.631.223.018

**Oil extraction from vegetable raw material in ultrasound conditions**

Master's dissertation: 153 p., 27 tables, 42 drawings, 71 sources

In view of the increase of the technogenic load on the environment and the threat of exhaustion of non-renewable natural resources, the need to create and implement resource-saving energy-efficient and environmentally-friendly technologies has emerged today.

Innovative methods and technologies are aimed at solving one of the problems - the absolute extraction of useful products from raw materials. In particular, it concerns the production of oils, which find their application not only as a necessary food product, but also as a raw material for the creation of biofuels.

The object of research: Acoustic extractor for oil production from vegetable raw materials.

The subject of research: influence of ultrasound on the process of oil extraction from different vegetable raw materials.

The purpose of research: determination of kinetic relations and diffusion coefficients, that characterizing the process of oil extraction from vegetable raw material under ultrasound conditions and the development of an acoustic extractor.

For industrial use of oil extraction from vegetable raw material under the ultrasound conditions, is necessary to determine the factors that influence the intensification of the process and the maximal removing of the target components from the raw material. One of the methods for determining the parameters of the extraction process is the experimental study the kinetics of extraction. The determination of the kinetic patterns of the extraction process and the transfer coefficients allows us to make technological calculations of the process and equipment.

Experimental studies of the process of oil extraction from vegetative raw materials under ultrasound conditions were carried out on an experimental plant with submersible ultrasound emitters UZP-6-1 (Medpromprilad, Ukraine). Experiments

were carried out using an ultrasound plant and without it with crushed flax seed and soybean pulp to study the influence of ultrasound on the process of oil extraction. Extraction of oil from flax seed was carried out with extraction gasoline and methylenechloride, and for soybean pulp – methylenechloride.

The diagram of the content of oil in the isolated locale was made as a result of the study kinetics of oil extraction from soybean pulp under ultrasound conditions and without ultrasound. These kinetic relations are used to determine the diffusion coefficients during the process of oil extraction from vegetable raw materials under ultrasound conditions.

The mathematical model of the process in which the main structural unit of a substance is a cell was made. This mathematical model is used to determine the coefficient of oil diffusion through the cell membrane and the diffusion coefficient in the intercellular medium based on the processing of experimental data of the kinetics of the extraction process under ultrasound conditions and without it.

A theoretical analysis of technological features of the process of oil extraction from vegetable raw material in an acoustic extractor has been carried out. The mathematical model of the process of oil extraction from vegetable raw material in an acoustic extractor has been developed. Based on the solution of the mathematical model, the continuance of the process of oil extraction from vegetable raw material is established.

The 3D-model of the acoustic extractor and its structural elements has been developed. The calculations confirming the efficiency and reliability of the construction have been made, drawings of the acoustic extractor and its assembly units have been developed.

The business idea of vegetable oil production using an acoustic extractor is presented. The analysis of the external and internal environment of the enterprise shown in which direction it is necessary to develop to achieve success.

Research using the Bove method showed that the proposed development relates to the "Ready to get around" zone, because an innovative idea can compete with market leaders. The sales market includes five major industries – chemical, food, paint, metal, foundry companies.

KEYWORDS: ACOUSTIC EXTRACTOR, VEGETANLE OIL, EXTRACTION, ULTRASONIC OSCILLATION GENERATOR.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ .....	15
ВСТУП.....	18
1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ .....	20
1.1. Характеристика олійної сировини .....	20
1.1.1. Характеристика рослинних олій .....	21
1.2. Методи отримання рослинної олії .....	23
1.2.1. Механічний метод.....	24
1.2.2. Хімічні методи .....	28
1.3. Екстрагенти .....	30
1.3.1. Ацетон .....	31
1.3.2. Етиловий ефір .....	31
1.3.3. Хлороформ .....	32
1.3.4. Дихлоретан .....	32
1.3.5. Метиленхлорид .....	33
1.3.6. Екстракційний бензин .....	33
1.4. Методи та обладнання для інтенсифікації процесів екстрагування.....	34'
1.4.1. Застосування ультразвуку при екстракції .....	42
1.5. Висновки.....	46
1.6. Постановка мети і задач дослідження.....	47
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	48
2.1. Опис експериментальної установки.....	48
2.2. Дослідження використання ультразвуку для інтенсифікації процесів екстракції олії різних видів рослинної сировини найбільш поширеними розчинниками .....	51



2.2.1. Дослідження процесу екстракції олії з рослинної сировини найбільш поширеними розчинниками.....	51
2.2.2. Дослідження впливу ультразвукового випромінювання на процес екстракції з різних видів рослинної сировини.....	53
2.2.3. Аналіз результатів.....	56
2.3. Встановлення кінетичних залежностей процесу екстракції з рослинної сировини в умовах ультразвуку .....	56
2.3.1. Обробка результатів дослідження .....	58
2.3.2. Аналіз результатів кінетики екстракції олії з жмиху сої в умовах ультразвуку і без дії ультразвуку .....	62
2.4. Висновки.....	63
3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ.....	65
3.1 Математичне моделювання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без ультразвуку для встановлення кінетики процесу і визначення коефіцієнтів дифузії .....	65
3.2. Математична модель процесу екстракції олії в акустичному екстракторі.....	67
3.2.1. Аналіз факторів, що впливають на інтенсивність процесу екстракції .....	67
3.2.2. Аналіз технологічних особливостей процесів в акустичному екстракторі.....	68
3.2.3. Визначення коефіцієнту масопередачі $K$ .....	70
3.2.4. Визначення еквівалентного діаметру частинок сировини і питомої площі поверхні шару частинок.....	72
3.2.5. Визначення коефіцієнта масовіддачі.....	73
3.2.6. Визначення тривалості процесу екстракції олії з рослинної сировини .....	74

	12
3.3. Результати розрахунків.....	75
3.3.1. Визначення коефіцієнтів дифузії процесу екстракції з рослинної сировини в умовах ультразвуку .....	75
3.3.2. Визначення коефіцієнтів масопередачі та часу екстракції .....	78
3.3.3. Аналіз результатів розрахунку.....	80
3.4. Висновки.....	80
4. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	82
4.1. Вибір програмного забезпечення та побудова моделі .....	82
4.2. Моделювання та дослідження основних конструктивних елементів.....	84
4.3. Аналіз результатів моделювання.....	89
4.4. Висновки .....	90
5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	91
5.1. Опис технологічного процесу .....	91
5.2. Призначення та область застосування екстрактора.....	94
5.3 Обґрунтування вибору конструкції екстрактора.....	86
5.3.1 Опис конструкції екстрактора.....	86
5.3.2 Вибір матеріалів для виготовлення.....	88
5.4. Технічна характеристика .....	97
5.5. Конструктивний розрахунок.....	98
5.5.1. Тепловий розрахунок .....	98
5.5.1.1. Розрахунок поверхні теплообміну теплообмінного пристрою.....	98
5.5.1.2. Визначення фізичних властивостей метиленхлориду, соєвої олії і місцели.....	100
5.5.1.3. Визначення кінцевої температури екстрагенту в процесу роботи ультразвукового генератора.....	96

5.5.1.4. Визначення тривалості процесу екстракції олії з рослинної сировини .....	105
5.5.2. Розрахунок обичайки, навантаженої внутрішнім тиском .....	107
5.5.3. Розрахунок фланцевого з'єднання обичайки екстрактора .....	108
5.5.4. Перевірка несучої спроможності апарату на дію опорних навантажень .....	113
5.5. Рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації .....	115
5.5.1. Компоновка та монтаж .....	115
5.5.2. Випробування .....	116
5.5.3. Вимоги до експлуатації .....	117
5.6. Висновки .....	117
6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	118
6.1. Резюме .....	118
6.2. Аналіз зовнішнього та зовнішнього середовища підприємства .....	119
6.2.1. Аналіз потенційного ринку збуту .....	122
6.2.2. Місце розробки у системі цінностей за методом Бостонської матриці .....	123
6.3. Ключові фактори успіху проекту .....	125
6.3.1. Анкета для споживачів .....	126
6.4. Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки .....	128
6.4.1. Анкета .....	128
6.4.2. Договір на виконання НДР .....	130
6.4.3. Джерела фінансування НДР .....	133
6.4.4. Розрахунок техніко-економічних показників .....	134
6.4.5. Розрахунок ціни інноваційної пропозиції .....	135

	14
6.5. Оцінка ризиків та страхування розробки.....	138
6.6. Висновок.....	144
ВИСНОВКИ .....	145
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	147
Додаток А Патентний пошук	
Додаток Б Специфікації	
Додаток В Копії наукових досягнень	

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

БАР – біологічно активні речовини;

SFE – екстракція надкритичною рідиною;

$D_{\phi}$  – діаметр фланця, м;

$D_{\phi}$  – діаметр болтової окружності, м;

$d_{\phi}$  – діаметр болта, м;

$l_{\phi}$  – довжина болта, м;

$u$  – нормативний зазор, м;

$k_{np}$  – прокладочний коефіцієнт;

$b_o$  – ефективна ширина прокладки, м;

$a$  – конструктивний додаток до розміру болтів, м;

$h_n$  – товщина прокладки, м;

$G_a$  – загальна вага апарата, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $\frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ ;

$G_k$  – масова витрати холодної води, кг;

$c$  – питома теплоємність,  $\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$ ;

$P$  – тиск в апараті, Па;

$W$  – момент опору,  $\text{м}^3$ ;

$G$  – масова витрата,  $\text{кг}/\text{с}$ ;

$l$  – висота сорочки, мм;

$E$  – параметр гідравлічного опору;

$N$  – потужність двигуна, Вт;

$S$  – товщина стінки, мм;

$c$  – прибавка до розрахункової товщини стінки, мм;

$D_3$  – зовнішній діаметр фланця, мм;

$\theta$  – кут повороту фланця, рад;

$[\sigma]$  – допустиме напруження матеріалу, МПа;  
 $\rho_p$  – густина робочого середовища,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $V_p$  – об'єм робочого середовища,  $\text{м}^3$ ;  
 $\rho_v$  – густина води,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $\lambda_p$  – теплопровідність розчину,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{K})$ ;  
 $c_p$  – теплоємність розчину,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $V_c$  – об'єм розчину,  $\text{м}^3$ ;  
 $V$  – об'єм апарату,  $\text{м}^3$ ;  
 $\varphi$  – коефіцієнт заповнення апарату;  
 $D$  – внутрішній діаметр апарату, мм;  
 $f_p$  – площа поверхні теплообміну,  $\text{м}^2$ ;  
 $\tau$  – час роботи апарату, год;  
 $t_v$  – температура води,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $\delta_l$  – товщина стінки, мм;  
 $\lambda_{ст}$  – коефіцієнт теплопровідності стінки,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{K}$ ;  
 $\Delta t_{cp}$  – середня логарифмічна різниця температур,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $E$  – параметр гідравлічного опору;  
 $h_v$  – глибина воронки, мм;  
 $d_v$  – діаметр вала, мм;  
 $D_3$  – зовнішній діаметр фланця, мм;  
 $\theta$  – кут повороту фланця, рад;  
 $[\sigma]$  – допустиме напруження матеріалу, МПа;  
 $t_{екс}$  – час екстрагування, хв;  
 $m_c$  – маса сировини, г;  
 $m_{мхп}$  – початкова кількість екстрагенту, г;  
 $m_m$  – маса місцели, г;  
 $m_{ол}$  – маса олії, г;  
 $m_{олз}$  – частка вмісту олії у місцелі, г;  
 $K_c$  – коефіцієнт масопереносу через клітинну оболонку;

$K_m$  – коефіцієнт масовіддачі в міжклітинному просторі;

$D_c$  – коефіцієнт дифузії олії через клітинну оболонку;

$R_{екв}$  – еквівалентний розмір клітини;

$R_m$  – приведений радіус екстрагованої частинки, для клітин сферичної форми;

$W$  – об'єм екстрагенту, м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  – порозність шару сировини;

$C_p$  – рівноважна концентрація олії в екстрагенті;

$k$  – коефіцієнт, що характеризує перенос маси речовини;

$A$  – число вимивання;

$C_{тв н}$  – концентрація олії в твердих частинках сировини;

$C_{ек н}$  – концентрація олії в екстрагенті відповідно;

$D_{мд}$  – коефіцієнт молекулярної дифузії;

$D_{вн}$  – коефіцієнт масопровідності або внутрішньої дифузії;

$\beta$  – коефіцієнт конвективної дифузії;

## ВСТУП

З огляду збільшення техногенного навантаження на навколишнє середовище та загрозу вичерпності невідновлюваних природних ресурсів на сьогоднішній день виникла необхідність створення та впровадження в виробництво ресурсозаощадних енергоефективних та екологічно безпечних технологій.

Вдосконалення виробництва різних продуктів на основі інноваційних методів ведення технологічних процесів є необхідною передумовою розвитку сучасної промисловості.

Однією з проблем на вирішення якої направлені інноваційні методи і технології є максимальне вилучення корисних продуктів з сировини. Зокрема це стосується виробництва олій, які знаходять своє застосування не лише як необхідний продукт харчування, але і як сировина для створення біопалив.

На сьогоднішній день найбільш поширеними методами вилучення олії є метод механічного пресування сировини і екстракція олії розчинниками [1]. Шляхом пресування олія вилучається з сировини під дією стискаючих зовнішніх сил, створених в пресах. Цей метод забезпечує вилучення олії високої якості, разом з тим при пресуванні біля 8–14 % олії залишається в жмиху [2]. Екстракція розчинниками дозволяє вилучити олію, залишаючи в сировині 0,5–0,7 % [3] і може використовуватись для сировини з низьким вмістом олії, а також для остаточного вилучення олії з жмиху після пресування. Відомі роботи в яких наводяться результати використання як чистих розчинників, так і сумішей [4].

Екстракція олії забезпечує максимальне знежиренні рослинної сировини і здійснюється шляхом масопереносу. Масоперенос при екстракції олії із частинок попередньо подрібненої рослинної сировини складається з процесу масовіддачі на поверхні частинок і дифузії всередині.

Останнім часом набули поширення дослідження нових методів вилучення олії з сировини, таких як ультразвукова екстракція, мікрохвильова екстракція і екстракція надкритичною рідиною [5–7]. Наведені в літературі [8–10] результати дослідження ультразвукової екстракції засвідчили, що цей



процес забезпечує більш високу селективність, має меншу тривалість, зменшує енергозатрати і шкідливі викиди в навколишнє середовище. А також проводиться в обладнанні, конструкція якого набагато простіша ніж обладнання для пресування. Крім того, ультразвукова екстракція дозволяє отримати олію більш високої якості, ніж проста екстракція. Цей метод вважається екологічно чистим, оскільки більша частина розчинника, що використовується для екстракції, може бути відновлена.

В промислових умовах процес екстракції проводять в змішуючих, колонних (роторно-дискових, насадкових, тарілчастих, пульсаційних), доцентрових екстракторах.

Для інтенсифікації процесу екстракції запропоновані різноманітні конструкції, такі як віброекстрактори, екстрактори що працюють в умовах кавітації, екстрактори що працюють в умовах дії ультразвуку з комбінованим використанням енергії, захищенні охоронними документами. Разом з тим відсутні дані щодо наявності проектної документації на виготовлення цих конструкцій.

Разом з тим в літературі практично відсутні дані, що дозволяють встановити і порівняти кількісні характеристики виходу олії в процесах екстракції без використання та з використанням ультразвуку для різних розчинників і видів сировини.

Розроблення екстракційного обладнання, що працює в умовах ультразвуку вимагає встановлення кількісних кінетичних характеристик і коефіцієнтів дифузії процесу екстракції олії з рослинної сировини з використанням ультразвуку з різних розчинників і видів сировини. Отже встановлення кінетичних залежностей і коефіцієнтів дифузії протікання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку і розробка акустичного екстрактора є актуальним.

## 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Рослинні олії, отримані з насіння олійних культур, використовують в харчовій, хімічній промисловості, при виробництві фармацевтичних продуктів, для виробництва миючих засобів для побутових цілей, миття технологічного обладнання та ін. Вони використовуються в якості мастильних матеріалів, для виробництва лакофарбових матеріалів, оліфи, лінолеуму, непромокальних тканин в текстильній промисловості, в металообробній промисловості, в ливарному виробництві. Останнім часом широке поширення набули технології переробки рослинних олій в біопаливо, що за своїми характеристиками близьке до традиційного дизельного пального.

Виробництво рослинної олії включає очищення насіння, їх подрібнення, пресування і екстракцію олії з них. Екстракцією називається вилучення одного або декількох компонентів з твердої речовини з використанням розчинників, які мають селективну здатність розчиняти тільки ті цільові компоненти, які повинні бути виділені. Рушійною силою цього процесу є різниця концентрацій екстрагованої речовини в рідині, яка заповнює пори твердих частинок в основному об'ємі екстрагенту. Механізм екстракції передбачає проникнення екстрагента в пори твердого матеріалу, розчинення цільових компонентів, перенесення вилучених речовин з глибини твердих частинок до межі розділу за допомогою молекулярної дифузії, а також перенесення речовини від поверхні поділу фаз до екстрагенту шляхом конвективної дифузії. Швидкість екстракції визначається рушійною силою процесу і дифузним опором. [1, 11]

При екстракції олії з рослинної сировини в якості розчинників використовуються гексан, метиленхлорид, екстракційний бензин та інші. [1]

Екстракція розчинником дозволяє більш повне, у порівнянні з іншими методами, вилучення олії, залишаючи в сировині лише від 5% до 2%.

### 1.1. Характеристика олійної сировини

До групи олійних відносять рослини, насіння і плоди яких містять багато жиру (від 20% до 60%) і є основною сировиною для виробництва рослинної олії.

Рослинні жири використовуються в харчових продуктах і широко використовуються в багатьох галузях промисловості. [1]

З цієї групи в наших широтах найбільш поширені соняшник, соя, ріпин, льон, гірчиця. В останні роки зростає урожай ріпаку. На невеликих ділянках висіваються арахіс, сафлор, насіння кунжуту і інші.

Насіння олійних культур призначені для виробництва рослинних олій.

Побічні продукти:

- лушпиння, жмих – залишки після віджиму з олійного насіння пресуванням, що містять 8-10% залишкового жиру і 30-35% білкових речовин;
- відходи після екстракції олії з насіння за допомогою розчинників, що містять до 3% жиру і від 20% до 50% білкових речовин – це цінний концентрований білковий корм для сільськогосподарських тварин.

Багато насіння олійних культур обробляють зеленим кормом і силосом (соняшник, соя, рапс). Будучи в більшості випадків повзучими культурами, вони допомагають очистити поля від бур'янів і служать хорошим попередникам багатьох польових культур. [1]

#### 1.1.1. Характеристика рослинних олій

Соняшникова олія – основна харчова олія нашої країни, на частку якого припадає приблизно три чверті всього виробництва рослинних олій. Колір його золотисто-жовтий, запах специфічний, приємний. Широко застосовується гідрогенізація цієї олії для виготовлення маргарину. У суміші з іншими оліями воно може використовуватися для приготування оліфи.

Льняну олію отримують з олійного льону і льону-довгунця. Олія льону характеризується меншим вмістом ненасичених кислот, що знижує його технічну цінність. Свіжу олію можна вживати в їжу. Олія швидко висихає, тому застосовується для виготовлення оліфи, масляних лаків, лінолеуму і клейонки.

Конопляна олія висихає трохи довше, ніж льняне. Свіжа олія, призначена для харчових цілей, має приємний запах і смак. Конопляна олія використовують для приготування оліфи, а також для виготовлення зеленого медичного мила.

Бавовняна олія. Сира бавовняна олія має неприємний запах, гіркий смак і темно-коричневий колір. Після рафінації вона набуває жовтого забарвлення, приємного смаку і запаху і стає придатною для харчових цілей. Після соняшникової бавовняна олія є найбільш поширеною сировиною для жиропереробної промисловості. Вона широко використовується в миловарінні і при приготуванні маргарину.

Кукурудзяну олія отримують із зародків насіння кукурудзи, які містять до 50% жиру. Це гарна харчова олія. Крім того, її використовують для приготування рідких мил і в лакофарбової промисловості. [1]

Соева олія відразу після вилучення має інтенсивне забарвлення, а після рафінування має золотисто-жовтий колір. Соеву олію використовують у консервній промисловості, а після гідрогенізації – в маргариновому і миловарному виробництвах.

Гірничну олію отримують з сарептської і білої гірчиці. Добре рафінована гірнична олія світло-жовтого кольору, з приємним м'яким смаком і запахом. Її застосовують при випічці хлібобулочних виробів, виготовленні харчових жирів і в консервній промисловості. Вона використовується також безпосередньо в їжу, особливо в районах обробітку гірчиці. [1]

Арахісова олія безбарвна або слабо забарвлена, має приємний смак і запах. Її застосовують головним чином для харчових цілей, а також використовують в маргариновому і консервному виробництвах. Арахісова макуха застосовується в кондитерській промисловості для приготування халви.

Оливкову олію отримують з подрібненої м'якоті і кісточок плодів оливкового дерева. Вміст олії в плодах досягає 50%. Оливкова олія має приємний смак і запах, має золотисто-жовтий колір. Її також називають прованською олією. Оливкова олія широко використовується в консервній промисловості, а також в якості харчового жиру.

Касторову олію отримують з насіння рицину. Вона блідо-жовтого кольору. Касторова олія відрізняється високим вмістом рицинолевої кислоти (80-90%), яка являє собою ненасичений оксикислотами з одним подвійним зв'язком. Внаслідок цього касторова олія в порівнянні з іншими оліями має велику щільність і більш високу в'язкість. Характерною особливістю цієї олії є її легка розчинність в етиловому спирті. Макуха рицину містить отруйний алкалоїд рицинин; після пропарювання макухи цей алкалоїд втрачає свої отруйні властивості. [1]

## 1.2. Методи отримання рослинної олії

Протягом століть були прийняті різні методи для добування олії з насіння олійних культур. Метою цих методів була оптимізація процесу шляхом збору максимальної кількості наявної олії в олійних культурах з мінімальними витратами. В даний час в усьому світі існує чотири основні методи отримання рослинної олії: хімічна екстракція, екстракція з використанням надкритичної рідини, парова дистиляція і механічна екстракція.

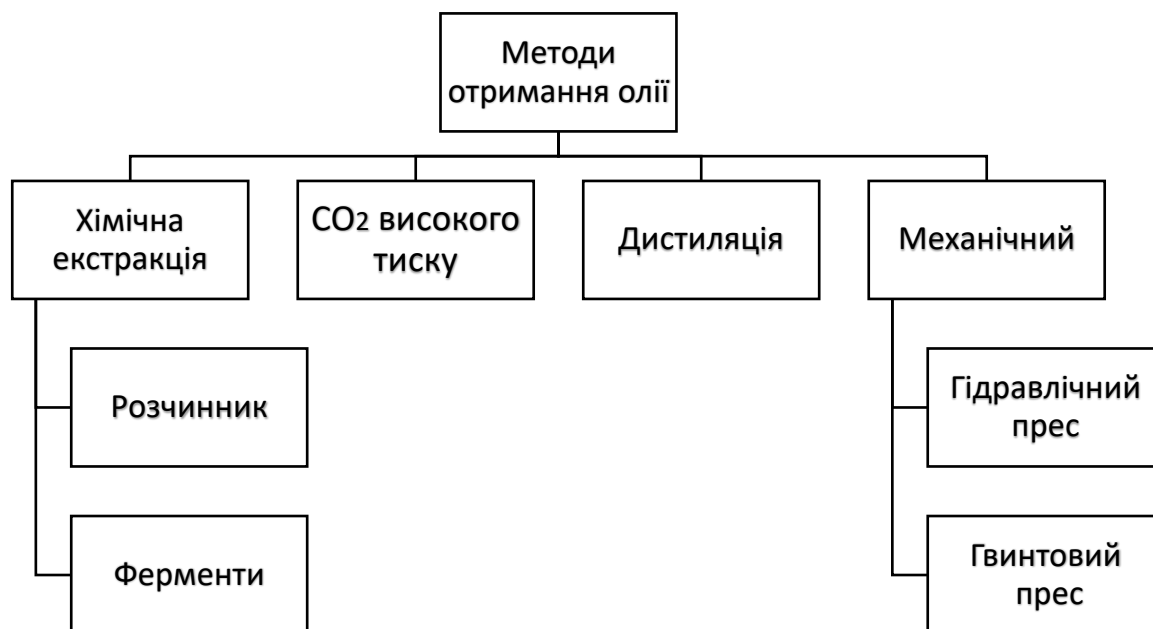


Рис. 1.1. Основні методи отримання олії [2, 12]

### 1.2.1. Механічний метод

Найбільш поширений метод вилучення харчової олії з олійної сировини, який практикується протягом тисячоліть – це механічне пресування насіння олійних культур. Механічне вилучення олії (також зване пресуванням) засновано на механічному стисканні олійної сировини. За допомогою пресування олія відділяється від сировини (твердо-рідинна суміш) під дією стискаючих зовнішніх сил, які виникають в спеціальних машинах, які називаються пресами.

Цей метод забезпечує вилучення незабрудненого, багатого білками знежиреного кеку при відносно низькій вартості. Недоліком цього методу є те, що механічні преси не мають високої ефективності вилучення, близько 8-14% доступної олії залишається в макусі. [13]

В даний час операція пресування може проводитися в гідравлічних пресах, які приводяться в дію тиском рідини, або в гвинтових пресах, де зусилля пресування створюється спіральним тілом (черв'яком), яке обертається в замкнутому просторі (камері пресування).

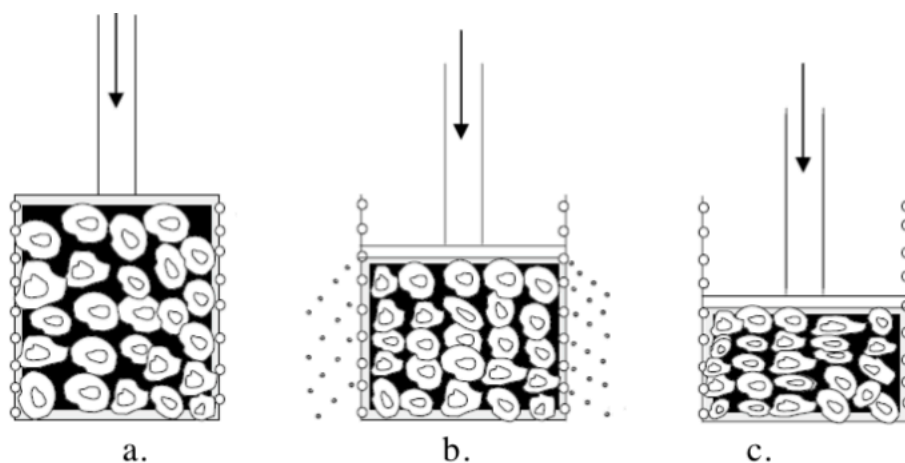


Рис. 1.2. Стадії гідравлічного пресування:

а – початкова стадія; б – динамічна стадія; с – кінцева стадія. [14]

Гідравлічне пресування олії включає прикладення тиску через плунжер до олійного матеріалу в циліндричній ємності. Циліндрична ємність зазвичай перфорована збоку. Це призводить до осьового ущільнення і радіального потоку

олії. При типовому гідравлічному пресуванні насіння можна виділити три основні стадії (рис. 1.2).

На рисунку 1.3 схематично представлений гідравлічний прес. Насіння поміщають на сітчасту пластину, покриту дрібною сіткою, в камері з контрольованою температурою ( $30-100 \pm 1$  °C) діаметром 30 мм. Тиск до 100 МПа створюється гідравлічним поршнем. Прес оснащений термopарою ( $\pm 1$  °C), датчиком тиску і датчиком положення ( $\pm 0,01$  мм), який вимірює відстань, пройдену поршнем. Виміряні значення автоматично записуються кожну секунду. [15]

Перший гвинтовий масляний прес був розроблений в 1900 році В.Д. Андерсон в США. Цей прес давав можливість безперервної роботи гідравлічних пресів, що призводило до збільшення продуктивності при меншому обладнанні і менших затратах праці.

Механічний шнековий прес (рис. 1.4) складається з вертикального живильника і горизонтального шнека зі зростаючим діаметром корпусу для прикладення тиску на насіння олійних культур в міру просування по довжині преса. Барабан, який окружає шнек, має прорізи по всій довжині, що дозволяє збільшити внутрішній тиск спочатку витісняючи повітря, а потім зливаючи олію через бочку. Олія збирається в жолобі під шнеком, а очищений від масла шрот скидається з кінця гвинта. Основною перевагою гвинтового преса є те, що великі кількості олійних культур можуть бути оброблені з мінімальними витратами праці, і це дозволяє безперервне отримання олії. [16]

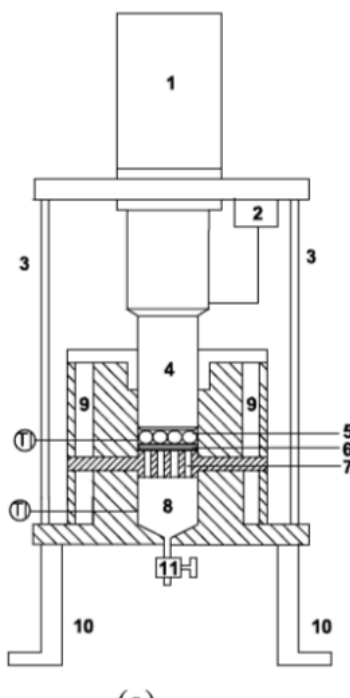


Рис. 1.3. Гідравлічний прес:

- 1 – гідроагрегат (прес); 2 – датчик переміщення; 3 – штатив; 4 – пуансон;  
 5 – сировина; 6 – середній фільтр; 7 – сито; 8 – камера накопичення;  
 9 – барабан; 10 – опори; 11 – клапан; ТІ – термопара.

В минулому були прикладені значні зусилля для підвищення ефективності вилучення олії шнековими пресами. Більшість з них були зосереджені на оптимізації змінних процесу, таких як прикладений тиск, температура пресування і кондиціонування вологості сировини.

Для поліпшення методів приготування, вилучення та якості олії і кеку була застосована технологія видавлювання (Extrusion-Expelling) (рис. 1.5). Ця технологія була застосована для отримання олії з сої. Технологія видавлювання і витіснення поєднує сухий екструдер, в якому тепло генерується тертям за допомогою безперервного гвинтового преса.



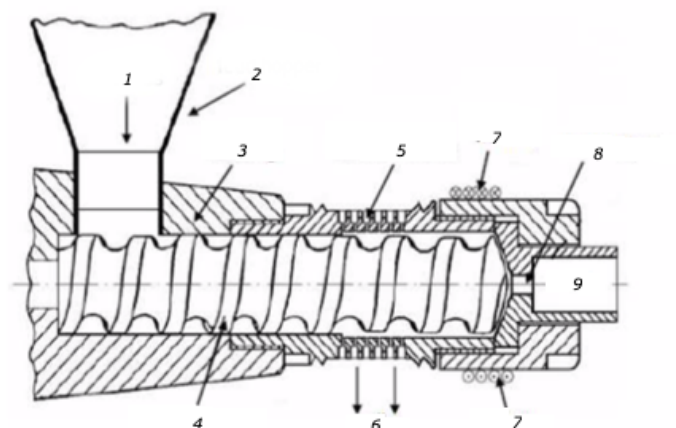


Рис. 1.4. Шнековий прес:

- 1 – сировина; 2 – завантажувальний бункер; 3 – підшипник;  
 4 – гвинт (черв'як); 5 – отвори для зливу олії; 6 – олія; 7 – підігрівач;  
 8 – розвантажувальний отвір; 9 – шрот.

Грубо подрібнену цільну сою з вологістю 10-14% піддавали екструзійній обробці протягом менш ніж 30 секунд при температурі 135 °С, а потім відразу ж пресували в безперервному гвинтовому пресі. Екструзія перед виштовхуванням значно збільшувала пропускну здатність виштовхувача в порівнянні з номінальною ємністю, витіснена олія була стабільною, і отримана макуха складалась на 50% з білка і на 6% з залишкової олії.

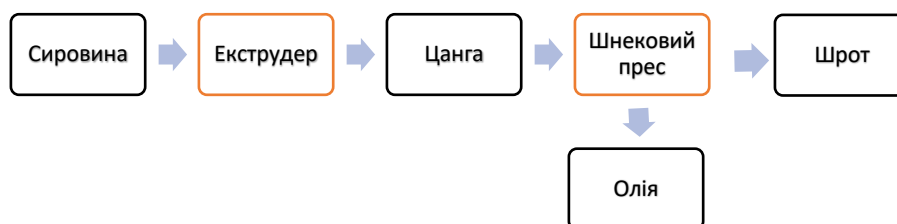


Рис. 1.5. Схема технології Extrusion-Expelling

### 1.2.2. Хімічні методи

Хімічні методи – інша технологія, яка використовується для вилучення олії з насіння олійних культур. У разі хімічних методів для екстракції олії використовуються ферменти або розчинники. [12]

Екстракція розчинником – це процес відділення рідини від системи рідина - тверда речовина з використанням розчинника. Для вилучення олії використовуються наступні легкі парафінові нафтові фракції: пентан, гексан, гептани і октави.

При екстракції розчинником насіння спочатку відшелушують (ця операція необхідна для того, щоб збільшити площу контакту насіння з розчинником, що приводить до збільшення виходу олії), і подрібнюють. Після цих операцій приготовані насіннєві пластівці змішують з розчинником для вилучення олії. В результаті виходить суміш олії і розчинника, яка називається місцела, яка нагрівається в випарювальних апаратах при 80 °C. Пара впорскується для випаровування і відновлення розчинника приблизно до 5% олії, потім олію безпосередньо відганяють парою у вакуумній колоні при температурах до 110 °C. [17]

Це найбільш ефективний метод вилучення олії з олійних культур. Залишкова олія в шроті буде менше 1% після промислової екстракції розчинником. Однак існують деякі обмеження і недоліки, пов'язані з вилученням олії з розчинників: хімічні розчинники шкідливі для здоров'я людини, хімічні речовини легко спалахують, висока пожежна і вибухова небезпека, високі початкові капітальні та експлуатаційні витрати та висока енергоємність при нижчій якості олії, ніж при пресуванні.

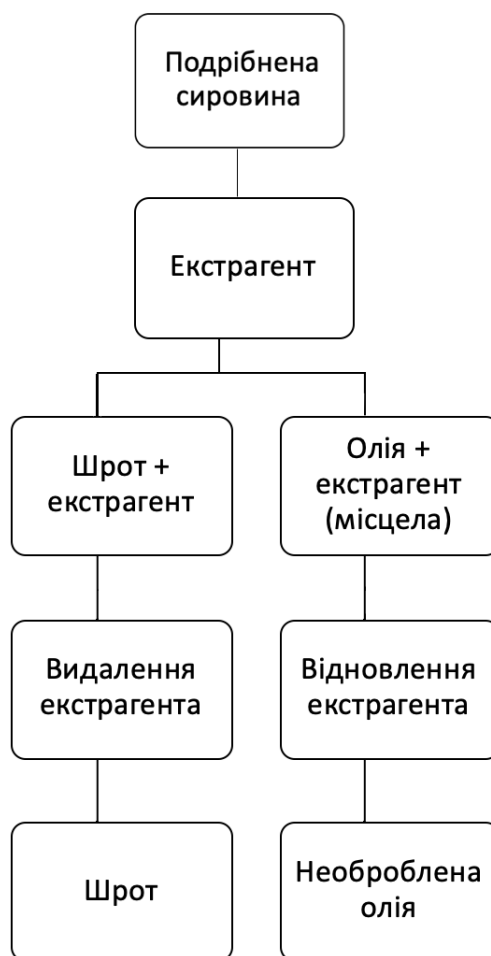


Рис. 1.6. Схема методу екстракції розчинником

Щоб підвищити ефективність екстракції розчинником і знизити вартість обробки, в якості попередньої обробки насіння олійних культур використовують процес екструзії.

Екстракція надкритичною рідиною (SFE) – це метод, аналогічний звичайній екстракції розчинником, але розчинник – не рідина, а газ в стані, що перевищує критичну точку. При цьому методі насіння змішують з CO<sub>2</sub> високого тиску в рідкій формі (при температурі 31 °C і тиску 7,3 МПа). Олія розчиняється в вуглекислому газі. Коли тиск скидається з системи, вуглекислий газ повертається в газову фазу, а олія випадає з суміші CO<sub>2</sub>-олія. Ефективність екстракції залежить від температури, тиску, часу контакту між екстрагентом і олійним матеріалом і розчинності олії в екстрагенті. [2]

Екстракція надкритичною рідиною є економічно ефективним методом в лабораторному масштабі, але точна економічна оцінка для великомасштабних одиниць вимагає додаткових експериментів. Переваги екстракції за допомогою CO<sub>2</sub> в порівнянні з екстракцією петролейного ефіру включають: низьку робочу температуру, отже, немає термічного розкладання більшості лабільних сполук; короткий період екстракції; висока селективність; не містить залишків розчинника, що негативно впливають на якість олії. [18]

Метод парової дистиляції використовується для екстракції ефірних олій. Ефірні олії – це висококонцентровані олії ароматичних рослин, які використовуються в медичних цілях. Коли при виробництві та екстракції ефірних олій використовується перегонка з водяною парою, сировина поміщається в кам'яне вугілля, і над матеріалом подається пар.

Гарячий пар допомагає вивільнити ароматичні молекули з рослинного матеріалу, оскільки пара розкриває рослинний матеріал. Молекули цих олій виходять з рослинного матеріалу і випаровуються в пару. Температуру пари необхідно ретельно контролювати – тримати достатньою, щоб змусити рослинний матеріал випускати ефірну олію, але не дуже гарячою, щоб спалити рослинний матеріал або ефірну олію. [2]

Пара, яка містить ефірну олію, пропускається через систему охолодження для конденсації, яка утворює рідину, від якої відокремлюються ефірна олія і вода. Пара виробляється при більш високому тиску, ніж атмосфера, і тому кипить при температурі вище 100 °C, що сприяє швидшому видаленню ефірної олії з сировини і, тим самим, запобігає пошкодженню олії.

### 1.3. Екстрагенти

В процесі екстракції особливо важливу роль відіграє екстрагент (розчинник). Він повинен бути здатний проникати через стінки клітин, вибірково розчиняти біологічно активні речовини всередині клітини, після чого останні повинні проходити через тверді оболонки і виходити за межі рослинного

матеріалу. До екстрагентів висувають певні вимоги, що впливають з особливостей галузі та вимог до кінцевого продукту. [19, 1]

При виборі екстрагенту необхідно враховувати цілий ряд вимог, оскільки цей вибір в значній мірі визначає інтенсивність процесу екстрагування і якість місцели.

Головні вимоги до екстрагента наступні:

- висока селективність, тобто здатність вилучати із сировини тільки цільовий продукт;
- високий коефіцієнт дифузії цільового продукту в екстрагенті;
- низькі витрати екстрагенту, тобто високий коефіцієнт розподілення;
- низькі витрати на регенерацію екстрагенту;
- хімічна інертність і слабка корозійна активність по відношенню до матеріалів обладнання;
- доступність і порівняно низька вартість;
- низький коефіцієнт в'язкості і поверхневого натягу; [20, 21].

З двох еквівалентних екстрагентів обирають менш легкозаймисті, доступні, менш шкідливі.

### 1.3.1. Ацетон

Ацетон ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) – безбарвна рідина з характерним запахом. Відносна щільність 0,798. Температура кипіння 56,2 °C. Змішується з водою і органічними розчинниками в будь-яких співвідношеннях. Використовується як екстрагент для алкалоїдів, смол, олій тощо. [20, 21]

### 1.3.2. Етиловий ефір

Етиловий ефір ( $\text{CH}_3\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$ ). Безбарвна, дуже рухлива рідина з надзвичайною летючістю, температура кипіння - від 34 °C до 36 °C. Розчинний у 12 частинах води, змішується у всіх співвідношеннях з ацетоном, спиртом, петролейним ефіром, жирними і ефірними маслами. Питома вага 0,714

(при 20 °C). Пари ефірна мають велику питому вагу (2,56 відносно повітря), вони поширюються вздовж підлоги, отруйні, можуть переміщатися і накопичуватися далеко від джерела випаровування ефіру. При контакті з вогнем або гарячими предметами може виникнути високий вибух (температура спалаху ефіру -40 °C). Тому при роботі з ефіром необхідно дотримуватися спеціальних заходів безпеки, що обмежує його використання в якості екстрагента. Етилацетат, змішаний з етанолом (9:1), використовується в рідкій екстракції флавоноїдів у виробництві полум'я. [20, 21]

### 1.3.3. Хлороформ

Хлороформ ( $\text{CHCl}_3$ ) Безбарвна, прозора, летюча рідина, що змішується у всіх співвідношеннях зі спиртом, ефіром, бензином, з багатьма жирами і ефірними оліями, розчинною у воді (1:200) і не змішується з гліцерином. Питома вага 1,52; кипить при 59,5°C - 62 °C. Пари хлороформу отруйні, але не горючі і вибухобезпечні.

Це хороший розчинник для багатьох лікарських речовин: алкалоїдів, глікозидів, олій тощо. [20, 21]

### 1.3.4. Дихлоретан

Дихлоретан ( $\text{CH}_2\text{Cl}$ ) – безбарвна прозора рідина, що не змішується з водою. Має запах, що нагадує хлороформ. Щільність 1,252-1,235. Температура кипіння 83,0°C - 84,0°C. Змішують з спиртом і ефіром, жирами, мінеральними маслами, смолами. Дихлоретан є легкозаймистим (температура займання 21,1°C). Вдихання парів викликає отруєння. Для вилучення глікозидів використовують дихлоретан, змішаний з хлороформом (при щільності 1,315 кг/м<sup>3</sup>). [20, 21]

### 1.3.5. Метиленхлорид

Метиленхлорид ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) – екстрагент з високою відносною щільністю - 3,33 і температурою кипіння  $41^\circ\text{C}$ . Він використовується для вилучення гідрофобних речовин (глікозиди, алкалоїди і т.д.).

Метиленхлорид, досить важкий, разом з тим, метиленхлорид добре розчиняє всі різновиди АЦ, в тому числі і триацетат. Через летючість хлористого метилену порівняно з оцтовою кислотою набагато легше видалити його з одержуваної ацетилцелюлози, яка може бути отримана випаровуванням. [20, 21]

### 1.3.6. Екстракційний бензин

Екстракційний бензин являє собою вузьку бензинову фракцію з малосірчистих парафінових олій з вмістом ароматичних речовин не більше 25% і не більше 0,02% сірки. Використовується в якості екстрагента при отриманні ефірних олій з рослинної сировини, у виробництві парфумерних олій, а також для очищення вовни в текстильній промисловості.

Екстракційний бензин повинен відповідати наступним вимогам:

- початок кипіння - не менше  $60^\circ\text{C}$ ;
- щільність при  $15^\circ\text{C}$  –  $720 - 725 \text{ кг/м}^3$ ;
- вміст фракцій, киплячих до  $76^\circ\text{C}$ , не більше 0,5% і від  $76^\circ\text{C}$  до  $101^\circ\text{C}$  – не менше 96%;
- температура кінця кипіння не вище  $106^\circ\text{C}$ .

Олія добувається екстракційним бензином при температурі  $60^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$  в безперервних екстракторах. Міцелу осаджують, фільтрують, промивають розчином хлориду натрію. Розчинник відганяють з міцелли в три етапи. Остаточне видалення розчинника з олії досягається обробкою гарячою водою під вакуумом. [20, 21]

#### 1.4. Методи та обладнання для інтенсифікації процесів екстрагування

Метою інтенсифікації процесу екстрагування олії із рослинної сировини є досягнення максимального виходу олії з твердої фази і отримання концентрованої місцели за умови скорочення тривалості процесу, мінімальних енерговитрат і низької металоємності обладнання. Для інтенсифікації процесу використовують раціональну організацію руху рідкої і твердої фази, мінімальне співвідношення потоків твердої фази і екстрагенту, а також оптимальний вибір технологічних параметрів, зокрема розмірів подрібненої сировини, виду екстрагенту, температури процесу.

Швидкість екстрагування визначається швидкістю проходження найбільш повільної стадії, тобто тієї стадії, яка має найбільший дифузійний опір, і саме на ці стадії необхідно інтенсифікувати. Для прискорення проникнення екстрагенту в капіляри сировини на початку процесу екстракції, необхідно з капілярів видалити повітря. Видалення повітря можливо за рахунок попереднього вакуумування сировини, заміни повітря в порах на газ з більш високою розчинністю в екстрагенті, використання змінного поля тиску. Найбільш суттєвий ефект, як показують дослідження, видалення повітря на першій стадії досягається проведенням процесу в ультразвуковому полі. В разі, коли швидкість процесу екстракції регламентується швидкістю розчинення олії в середині твердих частинок сировини, то на неї впливає температура і концентрація розчинника в місцелі.

У випадку коли швидкість процесу екстракції визначається високим опором масопереносу в примежовому шарі місцели на поверхні частинок, підвищити ефективність процесу екстракції можливо за рахунок зміни гідродинамічних умов в екстракційному апараті.

На швидкість процесу екстракції впливає температура місцели. З підвищенням температури зростає коефіцієнт дифузії і зменшується в'язкість місцели. Підвищення температури позитивно впливає на процеси масопереносу, як всередині твердих частинок так і в примежовому шарі.



Разом з тим при екстракції олії з рослинної сировини необхідно враховувати можливість негативного впливу росту температури на якість цільового продукту. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що перемінний температурний режим, за рахунок переривчастої роботи ультразвукового генератора інтенсифікує циркуляційні потоки розчинника в капілярах твердих часточок сировини. [20, 21]

Значний вплив на процес екстракції має ступінь подрібнення сировини. При подрібненні твердих частинок збільшується поверхня контакту фаз і зменшенню внутрішнього дифузійного опору, що зменшує тривалість процесу екстрагування. Разом з тим починаючи з певного ступеня подрібнення зменшується порозність твердого шару часточок, збільшується взаємне блокування поверхні часточок і збільшуються втрати цільового продуктів процесах розділення рідкої і твердої фаз після екстрагування. Ступінь подрібнення кожного виду сировини визначається дослідним шляхом.

В рослинній сировині олія міститься в середині клітин, тому спосіб подрібнення має значення. Роздавлювання і стирання руйнує клітини, а розламування не впливає на клітинну структуру. Швидкість екстрагування із зруйнованою клітинною структурою вище.

При екстрагуванні олії з твердих частинок рослинної сировини необхідно забезпечити такий гідродинамічний режим, який призводить до інтенсивного оновлення примежового шару на поверхні твердих частинок і відведення цільового продукту в місцелу. В сучасних екстракторах використовують перемішування шару твердих частинок. Відомі конструкції вихрових екстракторів [22–26], в яких частота обертання перемішуючих пристроїв досягає  $100 \text{ c}^{-1}$ .

Досить ефективними, з точки зору інтенсифікації процесу екстрагування, є апарати, в яких реалізовано дискретно-імпульсний підвід енергії. До них відносять екстрагування з використанням ультразвуку, вібрацій, пульсацій і високовольтних розрядів в рідині. В таких апаратах, енергія що підводиться, дисипує переважно біля поверхні твердих частинок. [21, 27–32]. Більша частина

перспективних методів до цих пір перебуває на стадії лабораторних або напівпромислових випробувань, що свідчить про відсутність розв'язання теоретичних і практичних задач пов'язаних з цими методами.

На кафедрі процесів і апаратів харчових виробництв НУХТ були розроблені конструкції вібраційних екстракторів, які за своїми конструктивними особливостями мають відмінності від традиційних екстракторів. [33, 34]

Віброекстрактори забезпечують створення турбулізуючих потоків за допомогою віброперемішуючих пристроїв. Під час екстрагування інтенсивність перемішування оцінюється швидкісним режимом обтікання екстрагентом поверхні частинок твердої фази.

Віброекстрактор (рис. 1.7) виконано з гнучким стрічковим контейнером, що створює у робочому об'ємі апарата умови оновлення поверхні контакту фаз спеціальними гнучкими перемішувальними пристроями. [35]

При цьому, в середині контейнера створюються замкнені пульсуючі циркуляційні контури, а за його межами розімкнені, локалізовані на певній відстані, які утримують частинки твердої фази у завислому стані та створюють умови циркуляції екстрагента навколо їх поверхні. [33]

Конструкція віброекстрактора періодичної дії з проміжним віджимом твердої фази (рис. 1.8) містить циліндричний корпус з кришкою та віброприводом, штуцери введення екстрагенту і виведення екстракту та проникний для екстрагенту контейнер — основний робочий вузол екстрактора. [36]

При зворотно-поступальному русі верхньої частини контейнера створюються турбулентні пульсуючі потоки, що усувають застійні зони та сприяють інтенсифікації процесу екстрагування на мікро- і макрорівні.

Особливості конструкції такого екстракційного обладнання забезпечують порівняно високу інтенсивність процесу екстрагування та скорочення його тривалості.

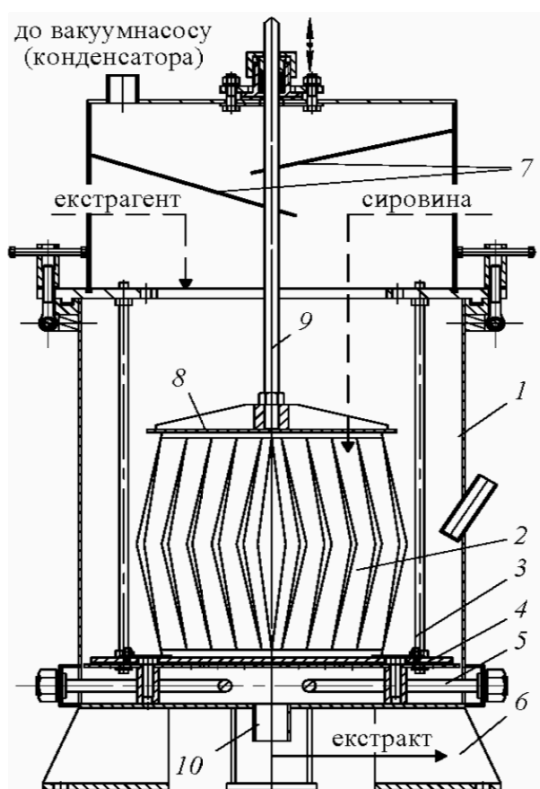


Рис. 1.7. Принципова схема  
віброекстрактора з гнучким  
контейнером:

1 – корпус; 2 – віброперемішувачий  
пристрій (контейнер); 3 – напрямна  
штанга; 4 – перфорований диск-  
основа; 5 – нагрівальний елемент;  
6 – опора; 7 – лабіринтний  
брызкоуловлювач; 8 – тарілка;  
9 – шток; 10 – штуцер

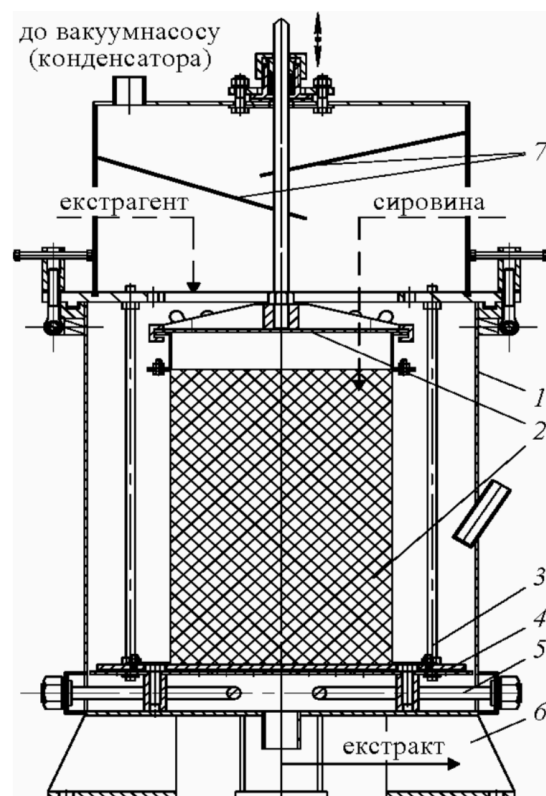


Рис.1.8. Принципова схема  
віброекстрактора з сітчастим  
контейнером:

1 – корпус;  
2 – віброперемішувальний пристрій з  
сітчастим контейнером;  
3 – направляюча штанга;  
4 – перфорований диск - основа;  
5 – нагрівальний елемент;  
6 – опора; 7 – лабіринтний  
брызкоуловлювач

На рисунку 1.8 показано вібраційний екстрактор періодичної дії з комбінованим енергопідведенням. В конструкції екстрактора одночасно реалізується накладання поля низькочастотних механічних коливань на робоче середовище механічним вібрувальним пристроєм та поля високочастотних механічних коливань від електромеханічного випромінювача. [37]

Тривалість поодиноких низько- або високочастотних випромінювань, або тривалість їх одночасної дії на сировину залежить від виду та структурно-механічних властивостей сировини та від режимних параметрів процесу.

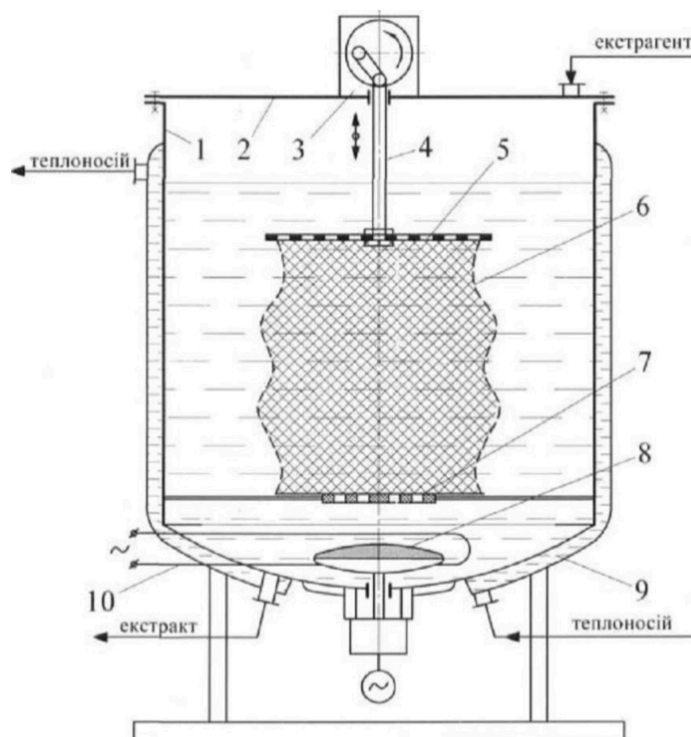


Рис. 1.9. Віброекстрактор з віброперемішувальною системою та з високочастотним випромінювачем:

- 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – вібропривід; 4 – шток; 5 – перфорований диск;  
6 – гнучкий контейнер; 7 – опора; 8 – високочастотний випромінювач;  
9 – нагрівна оболонка; 10 – ТЕН

Віброекстрактор періодичної дії з жорсткими мембранами (рис.1.10) містить циліндричний корпус з кришкою та віброприводом, штуцери введення екстрагенту і виведення екстракту та контейнер, який виконано гнучким, набір тарілок, дві з яких закріплені через верхній та нижній фланці відповідно із віброуючим штоком та опорою. [33, 38]

При зворотно-поступальному русі верхньої тарілки, рух передається через пружинні вставки на інші тарілки, високочастотні випромінювачі інтенсифікують масообмін у нижній частині. Внаслідок проміжного вичавлювання інтенсифікується молекулярна дифузія.

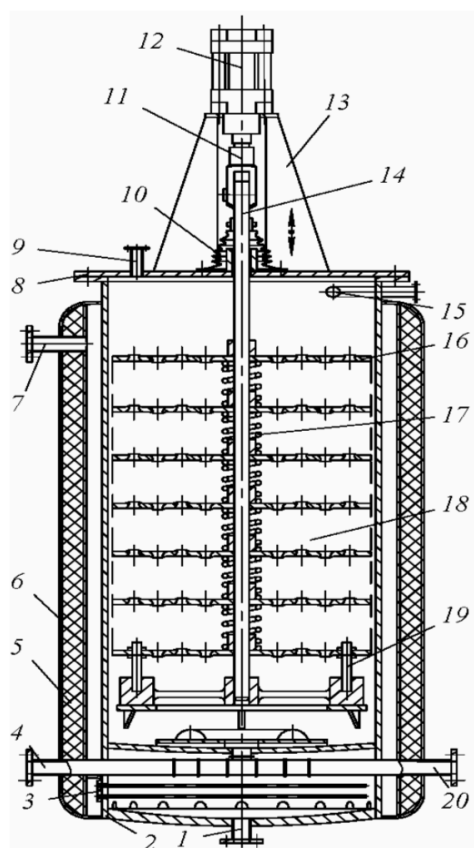


Рис. 1.10. Схема екстрактора періодичної дії з гнучкими мембранами:

- 1 – патрубок виведення конденсату; 2 – корпус; 3 – електронагрівач;  
 4 – патрубок підведення екстрагенту; 5, 6 – теплоізоляція з оболонкою;  
 7, 15 – патрубок підведення пари; 8 – кришка;  
 9 – патрубок підведення промивної води; 10 – сильфон; 11 – вилка;  
 12 – вібропривід; 13 – опора; 14 – шток; 16 – мембрана;  
 17 – пружина; 18 – ситчастий контейнер; 19 – напрямляючі;  
 20 – патрубок виведення екстракту

Віброекстрактор безперервної дії (рис. 1.11) має розвинену велику міжфазну поверхню, при виключно високій турбулізації в зоні тарілки, створює умови для інтенсивного масообміну. У той же час тривалість перебування усіх часток в робочому об'ємі апарата майже однакова.

В залежності від форми та розміру часток твердої фази розроблено ряд апаратів, що відрізняються за конструкцією вібротранспортувального пристрою та режимними параметрами їх роботи. [39]

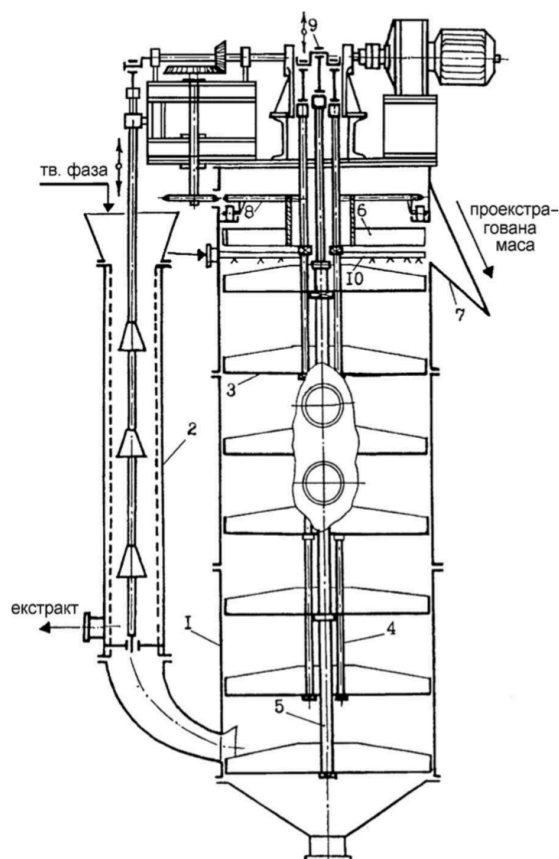


Рис.1.11. Принципова схема віброекстрактора:

- 1 – корпус апарата; 2 – завантажувальний пристрій;  
 3 – вібротранспортувальна тарілка; 4, 5 – штоки; 6 – шкребачка; 7 – лоток;  
 8 – механізм для розвантажування; 9 – вібропривід; 10 – зрошувач

Одним з найбільш перспективних методів інтенсифікації процесів екстракції є ультразвук. Розповсюдження звукових хвиль в середовищі апарату відбувається шляхом періодичного розрідження і стиснення середовища з частотою, що відповідає частоті коливань звукової хвилі і амплітудою з розрідження, що дорівнює амплітуді стиснення. При роботі ультразвукового генератора виникають ефекти перемішування і нагрівання середовища, а також виникнення пульсації, схлопування та ансамблю кавітаційних бульбашок.

Ультразвук – пружні коливання і хвилі, частота яких перевищує 15 - 20 кГц. Нижня межа області ультразвукових частот, що відділяє її від області чутного звуку, визначається суб'єктивними властивостями людського слуху і є умовною, оскільки верхня межа слухового сприйняття у кожної людини своя.

Верхня межа ультразвукових частот обумовлена фізичною природою пружних хвиль, які можуть поширюватися лише в матеріальному середовищі, тобто за умови, що довжина хвилі значно більше довжини вільного пробігу молекул в газі або міжатомних відстаней в рідинах і твердих тілах. У газах при нормальному тиску верхня межа частот УЗ складає 109 Гц, в рідинах і твердих тілах гранична частота досягає 10<sup>12</sup>-10<sup>13</sup> Гц. Залежно від довжини хвилі і частоти УЗ має різні специфічні особливості випромінювання, прийому, поширення і застосування, тому область ультразвукових частот підрозділяють на три області:

- низькі частоти (ультразвукові 1,5 (10<sup>4</sup> - 10<sup>5</sup> Гц);
- середні (10<sup>5</sup> - 10<sup>7</sup> Гц);
- високі (10<sup>7</sup> - 10<sup>9</sup> Гц).

Пружні хвилі з частотами 10<sup>9</sup> - 10<sup>13</sup> Гц прийнято називати гіперзвуком.

Щодо фізичних властивостей, то ультразвукові хвилі за своєю природою не відрізняються від пружних хвиль чутного діапазону. У газах і рідинах поширюються тільки поздовжні хвилі, а в твердих тілах - поздовжні і зсувні. [40]

Поширення ультразвуку підкоряється основним законам, загальними для акустичних хвиль будь-якого діапазону частот. До основних законів поширення відносяться закони віддзеркалення звуку і заломлення звуку на межах різних середовищ, дифракції звуку і розсіювання звуку за наявності перешкод і неоднорідності в середовищі і нерівностей на межах, закони хвильового поширення в обмежених ділянках середовища. Істотну роль при цьому грає співвідношення між довжиною хвилі звуку  $\lambda$  і геометричним розміром  $D$  - розміром джерела звуку або перешкоди на шляху хвилі, розміром неоднорідності середовища. Швидкість поширення ультразвукових хвиль в необмеженому середовищі визначається характеристиками пружності і щільністю середовища.

В обмежених середовищах на швидкість поширення хвиль впливає наявність і характер меж, що призводить до частотної залежності швидкості (дисперсія швидкості звуку). Зменшення амплітуди і інтенсивності ультразвукових хвиль у міру її поширення в заданому напрямі, тобто загасання

звуку, викликається, як і для хвиль будь-якої частоти, розбіжністю фронту хвилі з видаленням від джерела, розсіянням і поглинанням звуку. На усіх частотах як чутного, так і нечутних діапазонів має місце так зване "класичне" поглинання, викликане в'язкістю (внутрішнім тертям) середовища. Крім того, існує додаткове (релаксаційне) поглинання, часто істотно перевершуючи "класичне" поглинання. [41]

#### 1.4.1. Застосування ультразвуку при екстракції

Екстракція під дією ультразвуку [42] має свої переваги. Особливості ультразвукової екстракції полягають в тому, що обладнання має можливість безперервної роботи і підходить для масового екстрагування лікарських засобів з рослин; скорочується час екстрагування; процес проходить при низькій температурі, що дуже важливо для екстрагування термолабільних фармацевтичних інгредієнтів. Звукові хвилі, які мають частоти вище, ніж 20 кГц – це механічні коливання в твердих тілах, рідинах і газах. На відміну від електромагнітних хвиль, звукові хвилі переміщуються в будь-якій матерії, вони пов'язані з циклами стиснення і розширення під час переміщення в середовищі [43]. За допомогою ультразвуку можна знизити робочу температуру вилучення термолабільних сполук. Крім того, при ультразвуковій екстракції можна використовувати будь-який розчинник.

Ультразвукове екстрагування може бути використано для екстрагування БАД, таких як ефірні олії, ліпіди [44, 45] і дієтичні добавки з рослин [46, 47].

Встановлено, що при застосуванні методу ультразвукової екстракції здійснюється вплив на структуру матеріалу [48]. Доведено, що шлях до інтенсифікації виходу цільових компонентів лежить в зміні структури рослинного матеріалу. Недоліком ультразвукового методу є те, що використання ультразвуку не завжди призводить до позитивних результатів, але питань визначення стійкості видобутих речовин після ультразвукового озвучування присвячені не настільки численні дослідження. Точно не встановлено залежності



ступеня руйнування БАР від частоти ультразвуку, його інтенсивності і молекулярної маси оброблюваних речовин.

На кафедрі біотехніки та інженерії НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» розроблено конструкції вібраційно-акустичного обладнання.

Вібраційно-акустичний екстрактор (рис 1.12) містить шток, з закріпленими на ньому корзинами, в яких розміщується сировина та генератор ультразвукових коливань.

Вібраційно-акустичний екстрактор працює наступним чином. Перед кожним циклом роботи вібраційно-акустичний екстрактор очищають від залишків сировини, промивають миючими засобами, споліскують водою, при необхідності стерилізують гострою парою. Завантаження корзин 5 сировиною здійснюють поза межами вібраційно-акустичного екстрактора та фіксують в робочому положенні. Закріплюють кришку 3 до корпусу 1 апарата. В апарат подають екстрагент. Вмикають генератор ультразвукових коливань 12.

При зворотно-поступальному русі штоку 4, з закріпленими на ньому корзинами 5 з твердими частинками речовини, екстрагент проходить через сітчасті днища в корзинах 5, омиває розміщені в корзинах 5 тверді частинки сировини. Зміна напрямку руху штоку 4 призводить до руйнування примежового шару екстрагенту біля поверхні твердої частинки, інтенсифікуючи процес масовіддачі. [49]

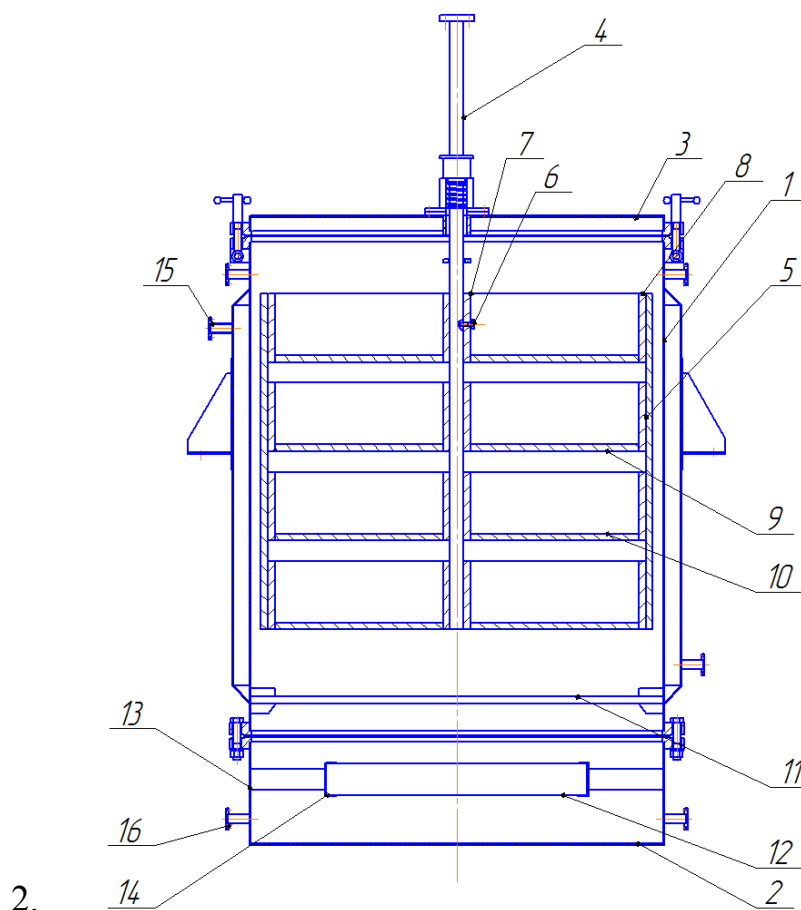


Рис. 1.12. Вібраційно-акустичний екстрактор:

- 1 – корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – шток; 5 – корзини; 6 – гвинт;  
 7 – внутрішня втулка; 8 – зовнішнє кільце; 9 – планки; 10 – металева сітка; 11 –  
 плоска металева сітка; 12 – генератор ультразвукових коливань; 13 –  
 направляючі; 14 – ребра; 15 – штуцер для введення екстрагенту;  
 16 – штуцер для виведення екстракту

Циркуляційно-акустичний екстрактор (рис.1.13) містить циліндричний корпус з плоским днищем і кришкою, штуцери для підведення екстрагенту та виведення екстракту, контейнер, який виконано з нижнього і верхнього кілець і циліндричних внутрішньої та зовнішньої сіток, встановленого на решітці. Конструкція апарата забезпечує створення циркуляційного руху рідини через шар твердої фази при акустичній дії, що забезпечить інтенсифікацію процесів масопереносу всередині твердих частинок сировини і від поверхні твердих часточок до екстрагенту, та вилучення продукту з сировини. [50]

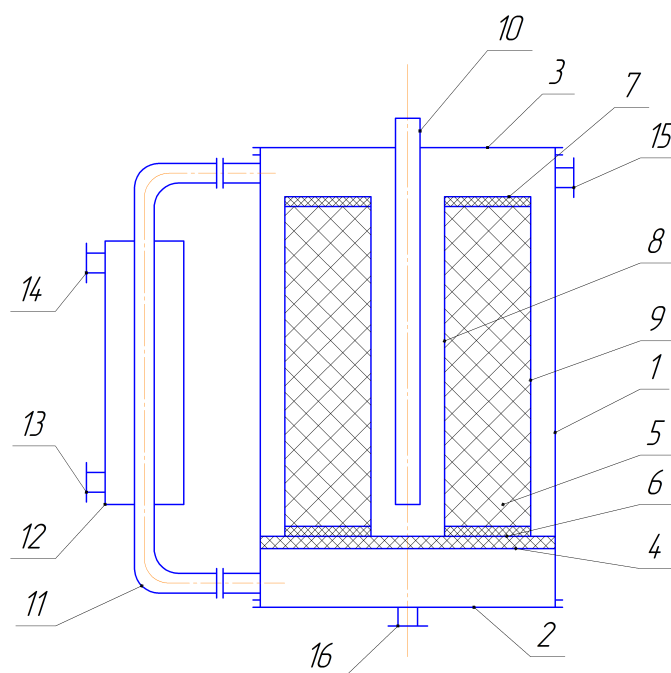


Рис. 1.13. Циркуляційно-акустичний екстрактор:

1 – корпус; 2 – днище, 3 – кришка; 4 – решітка, 5 – контейнер; 6, 7 – нижнє та верхнє перфоровані кільця; 8, 9 – внутрішня та зовнішня стінки контейнера; 10 – генератор ультразвукових коливань; 11 – циркуляційна труба; 12 – кожух; 13, 14 – штуцери для підведення та відведення теплоносія; 15, 16 – штуцери для підведення та відведення екстрагента

Для промислового використання екстракції олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку необхідно встановити фактори, що впливають на інтенсифікацію процесу та максимальне вилучення цільових компонентів із сировини. Одним з методів для визначення параметрів процесу екстракції є експериментальне дослідження кінетики екстрагування. Визначення кінетичних закономірностей процесу екстрагування дають змогу провести технологічні розрахунки процесу і обладнання.

Дослідження кінетики процесу екстракції в умовах ультразвуку дозволить розширити знання про механізми масообміну, які відбуваються в рослинній сировині.

### 1.5. Висновки

1. Екстракція олії забезпечує максимальне обезжирювання рослинної сировини в порівнянні з іншими методами, зокрема механічним пресуванням.

2. Процес екстракції здійснюється шляхом масопереносу і складається з масовіддачі з поверхні твердих частинок попередньо подрібненої рослинної сировини та молекулярної дифузії всередині частинок. Масовіддача з поверхні твердих частинок в розчин залежить від гідродинамічних умов омивання частинок і відбувається головним чином за рахунок конвективної дифузії.

3. Метою інтенсифікації процесу екстрагування олії із рослинної сировини є досягнення максимального виходу олії з твердої фази і отримання концентрованої місцели за умови скорочення тривалості процесу, мінімальних енерговитрат і низької металоємності обладнання.

4. Для інтенсифікації процесу екстракції олії з рослинної сировини використовуються різноманітні фізичні фактори, але найбільш перспективним є ультразвук.

5. Ультразвукові коливання інтенсифікують процес проникнення екстрагенту в пори твердих частинок, ультразвукова кавітація руйнує поверхню частинок, відкриває нові пори, сприяє транспортуванню екстрагента в капілярах твердих частинок, покращуючи процес переносу маси в твердих частинках і збільшуючи вихід цільового продукту.

6. Створення нових і вдосконалення існуючих конструкцій обладнання для екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку уповільнюється відсутністю кількісних характеристик процесу екстракції олії з рослинної сировини, зокрема коефіцієнтів, що характеризують процеси масопереносу в клітинному та міжклітинному просторі.

7. Для промислового використання екстракції олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку необхідно встановити фактори, що впливають на інтенсифікацію процесу та максимальне вилучення цільових компонентів із сировини. Одним з методів для визначення параметрів процесу екстракції є експериментальне дослідження кінетики екстрагування. Визначення кінетичних

закономірностей процесу екстрагування і коефіцієнтів переносу дають змогу провести технологічні розрахунки процесу і обладнання.

#### 1.6. Постановка мети і задач дослідження

Мета дослідження: встановлення кінетичних залежностей і коефіцієнтів дифузії, що характеризують протікання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку і розробка акустичного екстрактора.

Відповідно до поставленої мети досліджень сформульовані наступні задачі:

1. Розробити методику експериментальних досліджень процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку і без ультразвуку.
2. Дослідити можливість використання ультразвуку для інтенсифікації процесів екстракції олії із різних видів рослинної сировини найбільш поширеними екстрагентами.
3. Встановити кінетичні залежності і коефіцієнти дифузії протікання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку.
4. Побудувати математичну модель процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без неї для встановлення кінетики процесу і визначення коефіцієнтів дифузії.
5. Побудувати математичну модель процесу екстракції олії в акустичному екстракторі.
6. Розробити конструкцію акустичного екстрактора виробництва олії з рослинної сировини.
7. Провести оцінку економічної ефективності впровадження акустичного екстрактора і розробити стартап-проект.

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Задачі експериментального дослідження:

1. Дослідити можливість використання ультразвуку для інтенсифікації процесів екстракції олії із різних видів рослинної сировини найбільш поширеними екстрагентами.
2. Встановити кінетичні залежності і коефіцієнти дифузії при протіканні процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку.

### 2.1. Опис експериментальної установки

У якості експериментальної установки використовувався заглибний блок ультразвукових випромінювачів УЗП-6-1 (Медпромприлад, Україна) (рис.2.1).



Рис. 2.1. Ультразвуковий випромінювач УЗП-6-1

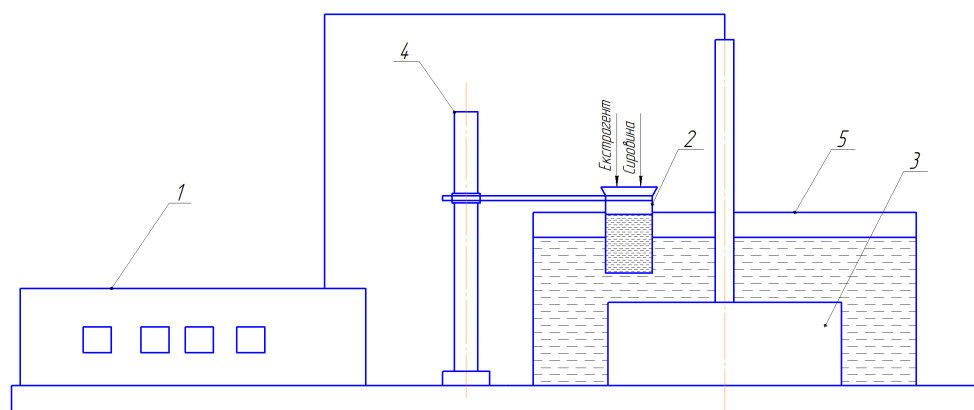


Рис. 2.2. Схема установки:

1 – пульт керування; 2 – хімічний стакан з сировиною і екстрагентом;  
3 – ультразвуковий випромінювач; 4 – штатив; 5 – ємність

Технічна характеристика УЗП-6-1 наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Технічна характеристика УЗП-6-1

№ з/п	Характеристика	Значення
1	Напруга живлення, В	220±10%, 50 Гц
2	Потужність генератора, Вт	300
3	Частота ультразвукового випромінювання, кГц	36
4	Кількість випромінювачів, шт	6
5	Період роботи, хв	1–30
6	Габаритні розміри заглибного блоку, мм	200x210x100
7	Габарити генератора, мм	200x180x75
8	Маса, кг	3
9	Матеріал корпусу	неіржавіюча сталь

Заглибний блок з ультразвуковими випромінювачами з'єднується з виносним ультразвуковим генератором. Заглибний блок виконаний з

нержавіючої сталі, який може розташовуватися на дні і/або на бічних стінках апарату. Всередині заглибний блоку розміщуються ультразвукові випромінювачі. [51]

Блок генераторів поміщається в окремий корпус, який з'єднується з випромінювачами окремим кабелем довжиною до 3-5 м і може бути встановлений в окремому приміщенні. Живлення на випромінювачі подається окремим кабелем, який підключений до блоку генератора. Органи управління, індикації та контролю розміщуються на передній стінці блоку генератора.

На передній панелі ультразвукового генератора розташовані органи управління:

- Тумблер включення живлення «СЕТЬ».
- Ручка встановлення часу «ТАЙМЕР».
- Індикатор таймеру.
- Кнопка «ПУСК/СТОП».

Порядок роботи з ультразвуковим генератором [51]:

1. Заглибний блок розміщується на дні ємності та заливається рідиною (водою) до рівня 150-300 мм вище блока.
2. Генератор вмикається в мережу живлення.
3. За допомогою ввімкнення тумблера «СЕТЬ» подається напруга живлення на генератор. Індикатор загорається червоним кольором.
4. Поворотом ручки «ТАЙМЕР» встановлюється час роботи генератора.
5. Кнопкою «ПУСК/СТОП» вмикається ультразвукове випромінювання. Індикатор змінює колір на зелений.
6. Після закінчення часу таймера ультразвуковий генератор вимикається автоматично.
7. Після закінчення роботи з приладом вимикається живлення «СЕТЬ».



## 2.2. Дослідження використання ультразвуку для інтенсифікації процесів екстракції олії різних видів рослинної сировини найбільш поширеними розчинниками

Для вивчення впливу ультразвуку на процес екстракції олії проводились досліди з використанням ультразвукової установки та без неї з подрібненим насінням льону та соєвим жмихом. Екстракція олії з насіння льону проводилась екстракційним бензином та метиленхлоридом, а для соєвого жмиху – метиленхлоридом.

### 2.2.1. Дослідження процесу екстракції олії з рослинної сировини найбільш поширеними розчинниками

Для дослідження використовувались два розчинника – екстракційний бензин та метиленхлорид. В якості сировини використовувалось насіння льону. Для порівняння дії ультразвуку на процес екстракції олії екстракційним бензином і метиленхлоридом використовувалась ультразвукова установка.



Рис. 2.3. Сировина – подрібнене насіння льону

### Методика проведення експерименту №1:

1. Зважити чотири наважки по 25 г льняного насіння.
2. Подрібнити насіння в ступці.
3. В чотири колби насипати по 25 г подрібненого насіння.
4. В кожну колбу заливати по 50 г екстрагента: в першу і другу – екстракційний бензин, в третю і четверту – метиленхлорид.
5. Колби закрити герметичними кришками.
6. Першу і другу колби залишити на 40 хвилин для проходження екстракції.
7. Третю і четверту колби помістити в ультразвукову установку на 40 хвилин.
8. Вміст кожної колби профільтрувати через фільтрувальний папір.
9. Місцелу зважити на електронних вагах.
10. Для виділення олії з місцели застосувати процес відгонки розчинника.

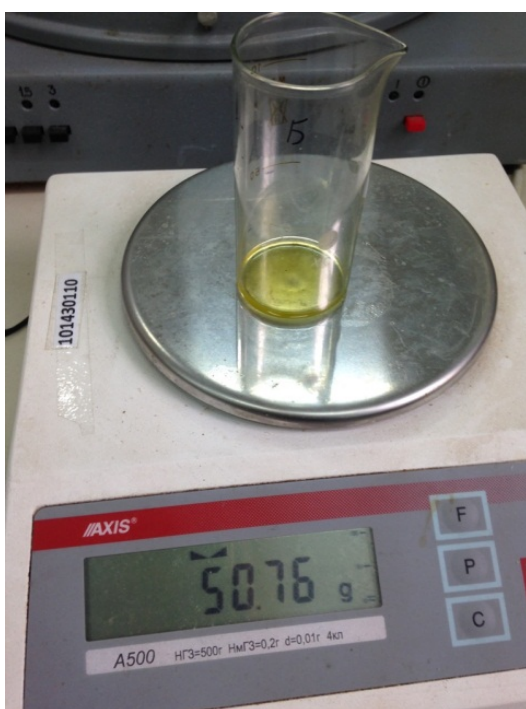


Рис. 2.4. Отримана олія,  
екстрагент – екстракційний бензин

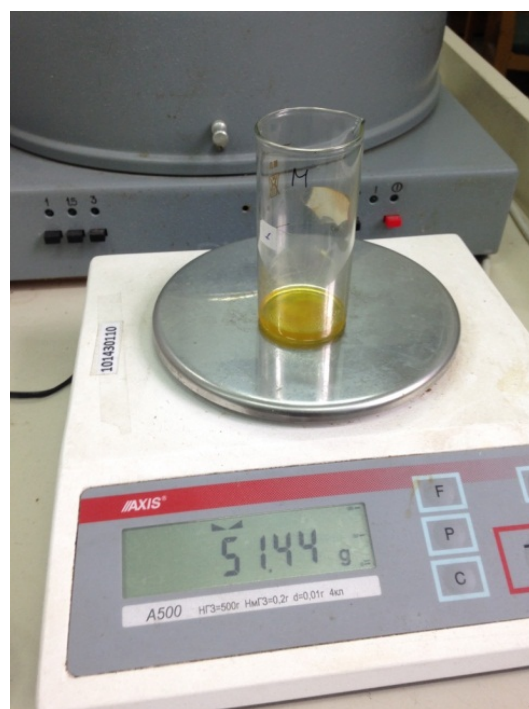


Рис. 2.5. Отримана олія,  
екстрагент – метиленхлорид

Результати досліджень наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Результати досліджень

Умови	Екстрагент	Час екстрагування, хв	Маса сировини, г	Маса екстрагента, г	Маса олії, г
Без ультразвуку	Екстракційний бензин	40	25	50	1,94
	Метиленхлорид	40	25	50	3,06
Ультразвук	Екстракційний бензин	40	25	50	1,31
	Метиленхлорид	40	25	50	3,2

#### 2.2.2. Дослідження впливу ультразвукового випромінювання на процес екстракції з різних видів рослинної сировини

Для дослідження використовувались два види рослинної сировини – насіння льону та відпрацьована соя (сировина після екстракції олії пресуванням). В якості розчинника використовувався метиленхлорид. Для інтенсифікації процесу використовувалось ультразвукове випромінювання.

Методика проведення експерименту № 2:

1. Зважити три наважки по 50 г льняного насіння.
2. Подрібнити насіння в ступці.
3. В три колби насипати по 50 г подрібненого насіння.
4. В кожену колбу залити по 100 г метиленхлориду.
5. Колби закрити герметичними кришками.
6. Першу колбу залишити на 30 хвилин для проходження екстракції.
7. Другу колбу помістити в ультразвукову установку на 30 хвилин.

8. Третю колбу – контрольну – залишити на 24 години для проходження екстракції.

9. Вміст кожної колби профільтрувати через фільтрувальний папір.

10. Місцелу зважити на електронних вагах.

11. Для виділення олії з місцели застосувати процес відгонки розчинника.

Результати досліджень наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Результати досліджень

<b>Умови</b>	<b>Час екстрагування, хв</b>	<b>Маса сировини, г</b>	<b>Маса екстрагента, г</b>	<b>Маса олії, г</b>
<b>Без ультразвуку</b>	30	50	100	5,29
<b>Ультразвук</b>	30	50	100	4,01
<b>Контрольний зразок</b>	30	50	100	6,08

Методика проведення експерименту № 3:

1. Зважити 2 наважки по 25 соєвого жмиху.
2. Пересипати сировину у скляні стакани.
3. Залити 50 г метиленхлориду.
4. Закрити герметичною кришкою.
5. Інтенсивно струсити стакани, щоб вся сировина змочилась.
6. Перший стакан залишити для проходження екстракції на 20 хвилин.
7. Другий стакан помістити в ультразвукову установку для проходження екстракції на 20 хвилин.

8. Після проходження екстракції вміст склянок профільтрувати через фільтрувальний папір.

9. Для виділення олії з місцели застосувати процес відгонки розчинника.

10. Після відгонки зважити склянки з чистою олією.



Рис. 2.6. Сировина – соєвий жмих

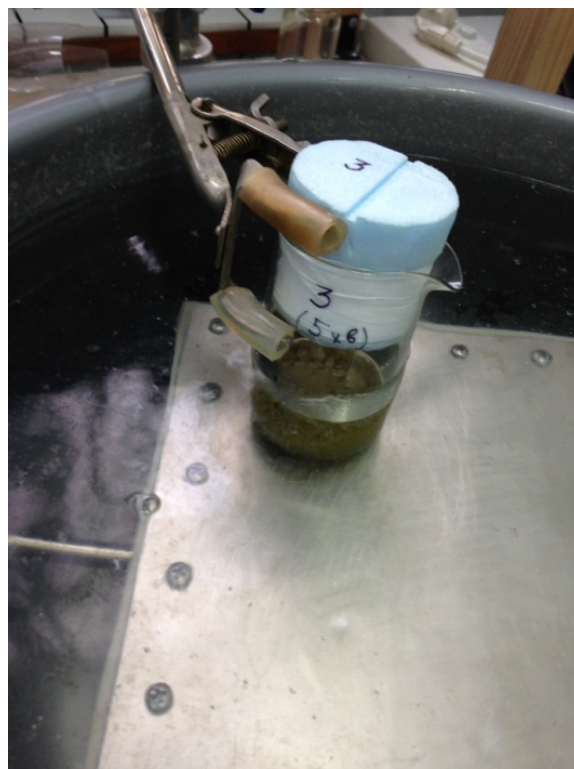


Рис. 2.7. Закріплення склянки в штативі ультразвукової установки

Результати досліджень наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Результати досліджень

Умови	Час екстрагування, хв	Маса сировини, г	Маса екстрагента , г	Маса олії, г
Без ультразвуку	20	25	50	1,14
Ультразвук	20	25	50	1,29

### 2.2.3. Аналіз результатів

В результаті проведення процесу екстракції олії з подрібненого насіння льону без дії ультразвуку маса олії, добутої екстракційним бензином, складала 1,94 г, а метиленхлоридом – 3,06 г.

В результаті проведення процесу екстракції олії з подрібненого насіння льону в умовах дії ультразвуку маса олії, добутої екстракційним бензином складала 1,31 г, а метиленхлоридом – 3,2 г. Потрібно відмітити, що під дією ультразвуку з подрібненого насіння льону в розчин вилучалась значна кількість клітковини. Клітковина погіршувала відділення розчину олії в екстракційному бензині від твердої фази в процесі фільтрування і це призвело до значних, в порівнянні зі звичайною екстракцією, втрат олії.

Маса олії, добутої в результаті екстракції олії з жмиху сої в умовах ультразвуку становить 1,29 г, без дії ультразвуку – 1,14 г, що підтверджує позитивний вплив ультразвуку із сировини.

### 2.3. Встановлення кінетичних залежностей процесу екстракції з рослинної сировини в умовах ультразвуку

Методика проведення досліджень:

1. Зважити 12 наважок по 25 г соєвого жмиху.
2. Пересипати сировину у скляні стакани.
3. Залити 50 г метиленхлориду.
4. Закрити герметичною кришкою.
5. Інтенсивно струсити стакани, щоб вся сировина змочилась.
6. Стакан 1 – 6 залишити для проходження екстракції на 1, 2, 5, 10, 20, 30 хвилин відповідно.
7. Стакани 7 – 12 помістити в ультразвукову установку для проходження екстракції на 1, 2, 5, 10, 20, 30 хвилин відповідно.
8. Після проходження екстракції вміст склянок профільтрувати через фільтрувальний папір.
9. Отриману міцелу зважити на електронних вагах.

10. Для виділення олії з місцели застосувати процес відгонки розчинника.

11. Після відгонки зважити склянки з чистою олією.

Результати досліджень наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Результати досліджень

Умови	№ проби	Час екстрагування, хв	Маса сировини, г	Маса екстрагента, г	Маса олії, г
Без ультразвуку	1	1	25,05	50,06	0,7
	2	2	25,02	50,11	0,82
	3	5	25,02	50,07	1
	4	10	25,09	50,17	1,02
	5	20	25,02	50,04	1,14
	6	30	25,04	50,06	1,1
Ультразвук	7	1	25,19	50,14	0,83
	8	2	25,1	50,03	0,91
	9	5	25,07	50,09	1,09
	10	10	25,01	50,1	1,11
	11	20	25,03	50,03	1,29
	12	30	25,02	50,01	1,3

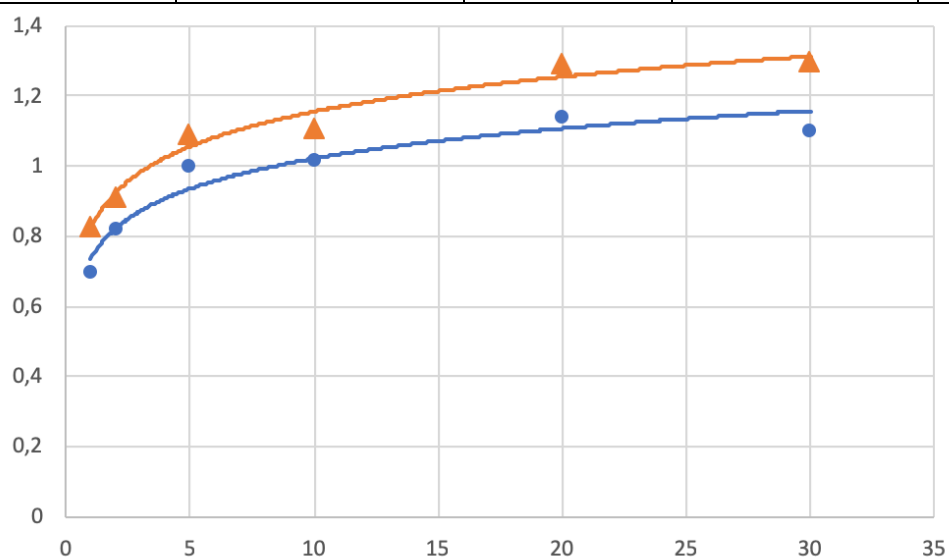


Рис. 2.8. Залежність маси отриманої олії від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

### 2.3.1. Обробка результатів дослідження

Для обробки отриманих даних введемо позначення:

- 1)  $t_{\text{екс}}$  – час екстрагування, хв;
  - 2)  $m_c$  – маса сировини (відпрацьованої подрібненої сої), г;
  - 3)  $m_{\text{мхп}}$  – початкова кількість екстрагенту (метиленхлориду), г;
  - 4)  $m_m$  – маса місцелі одразу після фільтрування, г
  - 5)  $m_{\text{ол}}$  – маса чистої олії, г;
  - 6)  $m_{\text{мхч}}$  – маса чистого екстрагенту після екстрагування, г;
  - 7)  $m_{\text{олз}}$  – частка вмісту олії у місцелі, г;
1. Залежність частки вмісту олії у вилученій місцелі від часу екстрагування

$$\begin{aligned} m_m &= m_{\text{мхч}} + m_{\text{ол}} \Rightarrow \\ m_{\text{мхч}} &= m_m - m_{\text{ол}} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Таблиця 2.6. Результати розрахунків

Без ультразвуку		Ультразвук	
№ проби	$m_{\text{мхч}}$ , Г	№ проби	$m_{\text{мхч}}$ , Г
1	30,6	7	33,48
2	28,9	8	34,46
3	32,15	9	34,24
4	30,79	10	30,25
5	32,67	11	30,72
6	30,29	12	30,9

З пропорції ( 2.1) знайдемо значення  $X$  – відношення маси чистого екстрагенту до початкової маси екстрагенту:

$$m_{\text{мхч}} \gg X \quad (2.2)$$

$$X = \frac{m_{\text{мхч}}}{m_{\text{мхп}}} \quad (2.3)$$



Таблиця 2.7. Результати розрахунків

Без ультразвуку		Ультразвук	
№ проби	X, г	№ проби	X, г
1	0,611	7	0,611
2	0,577	8	0,577
3	0,642	9	0,642
4	0,614	10	0,614
5	0,653	11	0,653
6	0,605	12	0,605

Знайдемо значення частки вмісту олії в місцелі:

$$m_{олз} = \frac{m_{ол}}{X} \quad (2.4)$$

Таблиця 2.8. Результати розрахунків

Без ультразвуку		Ультразвук	
№ проби	$m_{олз}$ , г	№ проби	$m_{олз}$ , г
1	1,145	7	1,243
2	1,422	8	1,321
3	1,557	9	1,595
4	1,662	10	1,838
5	1,746	11	2,101
6	1,818	12	2,104

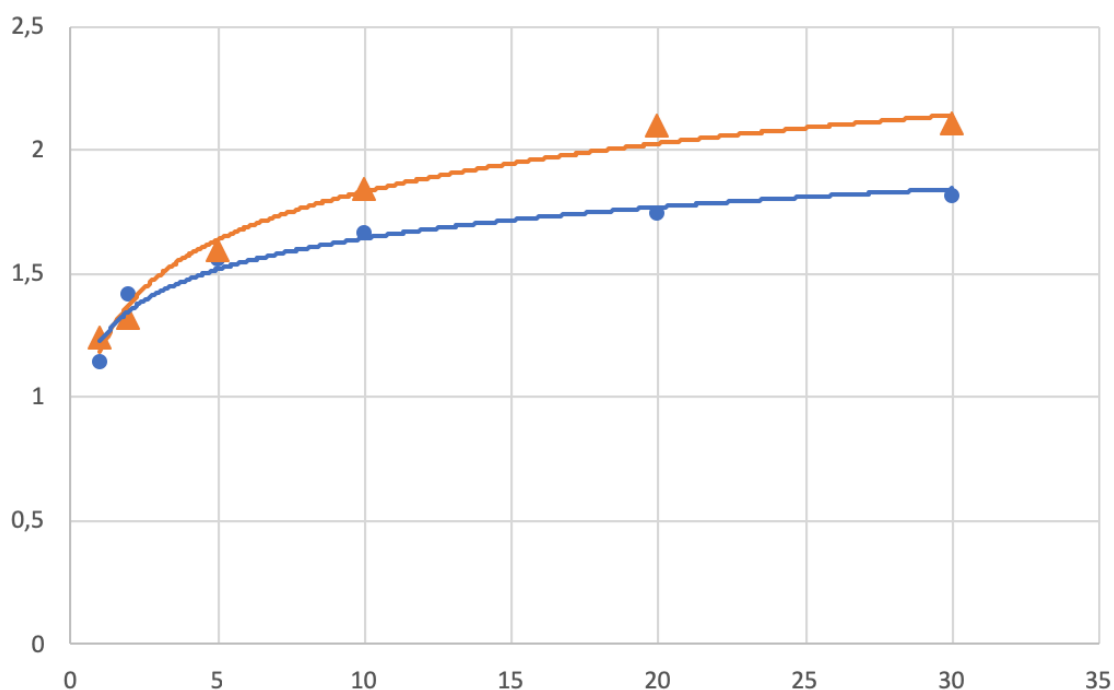


Рис. 2.9. Залежність частки вмісту олії в вилученій місцелі від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

## 2. Відсоткова залежність частки вмісту олії у вилученій місцелі

$$Y = \frac{m_{ол} \cdot 100\%}{m_m} \quad (2.5)$$

Таблиця 2.9. Результати розрахунків

Без ультразвуку		Ультразвук	
№ проби	Y	№ проби	Y
1	2,236	7	2,419
2	2,759	8	2,573
3	3,017	9	3,085
4	3,207	10	3,539
5	3,372	11	4,029
6	3,504	12	4,037

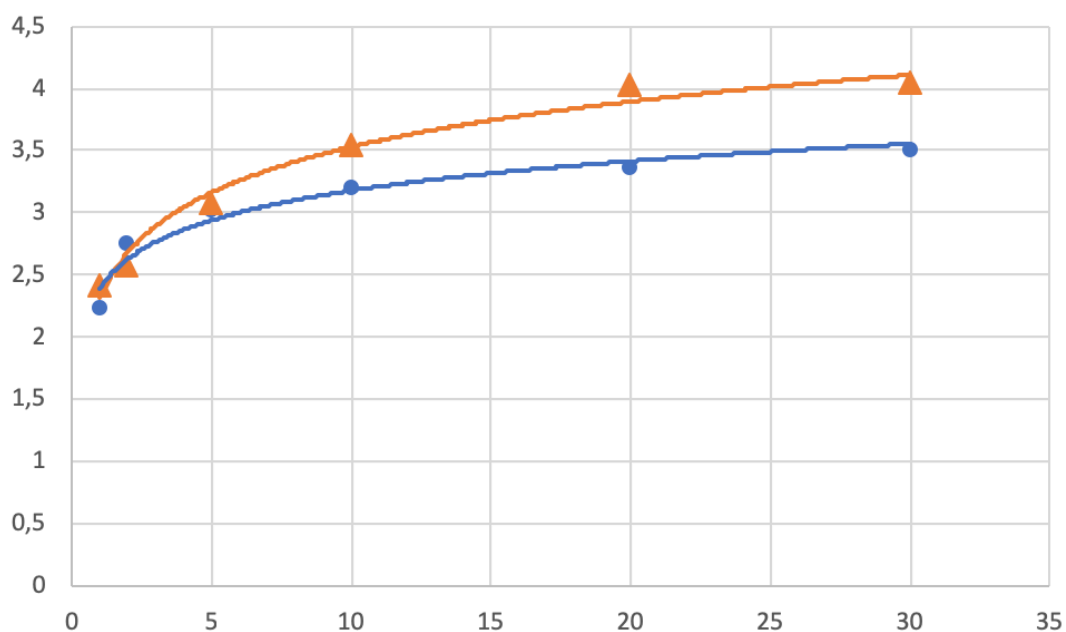


Рис. 2.10. Відсоткова залежність вмісту олії у вилученій місцелі від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

### 3. Вміст олії в об'ємі екстрагента

Густина екстрагента (метиленхлориду) при температурі 20°C:

$$\rho_{MX} = 1,326 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1326 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2.6)$$

Об'єм екстрагента:

$$V_{MX} = \frac{m_{MX} \cdot 10^{-3}}{\rho_{MX}}, \text{м}^3 \quad (2.7)$$

Таблиця 2.10. Результати розрахунків

Без ультразвуку		Ультразвук	
№ проби	$V_{MX}, \text{м}^3$	№ проби	$V_{MX}, \text{м}^3$
1	$2,308 \cdot 10^{-5}$	7	$2,545 \cdot 10^{-5}$
2	$2,179 \cdot 10^{-5}$	8	$2,599 \cdot 10^{-5}$
3	$2,425 \cdot 10^{-5}$	9	$2,582 \cdot 10^{-5}$
4	$2,322 \cdot 10^{-5}$	10	$2,281 \cdot 10^{-5}$
5	$2,464 \cdot 10^{-5}$	11	$2,317 \cdot 10^{-5}$
6	$2,284 \cdot 10^{-5}$	12	$2,33 \cdot 10^{-5}$

Вміст чистої олії в об'ємі екстрагенту:

$$Z = \frac{m_{ол}}{V_{мх}} \quad (2.8)$$

Таблиця 2.11. Результати розрахунків

Без ультразвуку		Ультразвук	
№ проби	Z	№ проби	Z
1	30,333	7	32,873
2	37,624	8	35,016
3	41,244	9	42,212
4	43,927	10	48,657
5	46,269	11	55,682
6	48,155	12	55,786

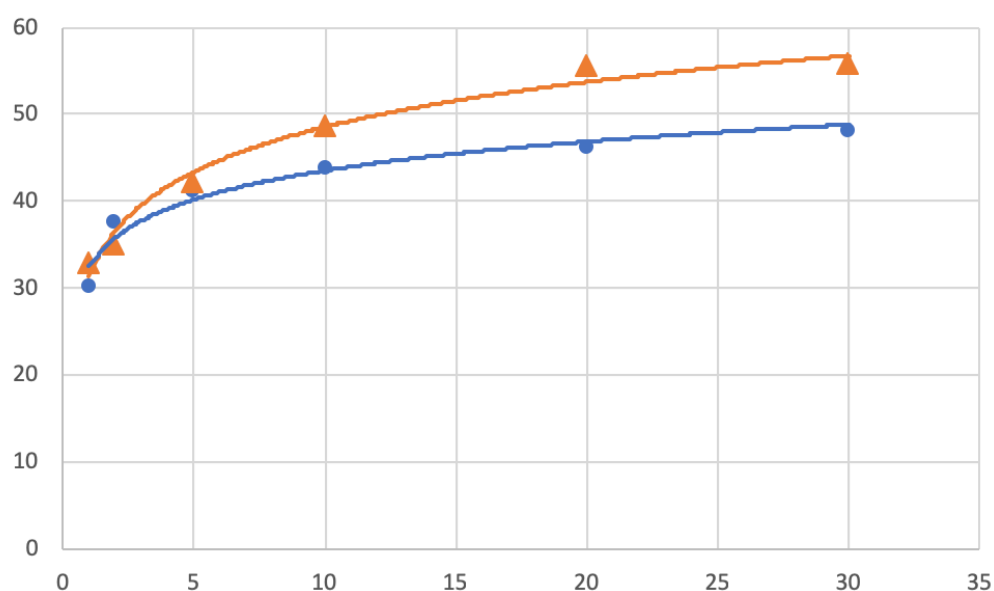


Рис. 2.11. Залежність вмісту олії в об'ємі екстрагенту від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

### 2.3.2. Аналіз результатів кінетики екстракції олії з жмиху сої в умовах ультразвуку і без дії ультразвуку

На рис. 2.8 показана залежність частки вмісту олії у вилученій місцелі під час екстрагування з жмиху сої в умовах ультразвуку (помаранчева лінія) і без ультразвуку (синя лінія), а на рис. 2.9 – відсоткова залежність вмісту олії у

вилученій місцелі під час екстрагування з жмиху сої в умовах ультразвуку (помаранчева лінія) і без ультразвуку (синя лінія).

Дані залежності, представлені типовими лініями внутрішньодифузійного механізму екстрагування. В початкові моменти часу, протягом 10 хвилин спостерігається інтенсивне вимивання олії зі зруйнованих клітин. Далі спостерігається повільна дифузія олії з неушкоджених клітин. Для екстракції в умовах дії ультразвуку частка вмісту олії у місцелі вища за частку вмісту олії у місцелі без використання ультразвуку практично протягом всього процесу екстракції, що свідчить про позитивний вплив ультразвуку на процес екстракції.

Дані кінетичні залежності використовуються для визначення коефіцієнтів дифузії при протіканні процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку. Методика визначення і розрахунку наведені в пункті «Математичне моделювання процесу екстракції олії».

## 2.4. Висновки

1. Проведені дослідження можливості використання ультразвуку для інтенсифікації екстракції олії з рослинної сировини, зокрема з насіння льону і жмиху сої найбільш поширеними екстрагентами – екстракційним бензином і метиленхлоридом.

2. В результаті дослідження впливу ультразвуку на процес екстракції олії з насіння льону та соєвого жмиху встановлено, що при використанні ультразвуку вихід олії із насіння льону і соєвого жмиху вище, ніж при проведенні процесу екстракції без ультразвуку.

3. Особливо треба відзначити, що при екстракції олії з насіння, що має значний вміст клітковини під дією ультразвуку в розчин вилучається може вилучатися значна частина клітковини, що ускладнює процес відділення місцелі і твердої фази фільтруванням і призводить до втрати олії.

4. Кінетичні залежності, що побудовані на основі результатів дослідження процесу екстракції олії із жмиху сої в умовах ультразвуку і без ультразвуку представлені типовими лініями внутрішньодифузійного механізму

екстрагування. В початкові моменти часу, протягом 10 хвилин спостерігається інтенсивне вимивання олії зі зруйнованих клітин, тобто розчинення вільної олії, яка знаходиться на зовнішніх поверхнях твердих частинок. Далі спостерігається повільна дифузія олії з неушкоджених клітин.

5. Під час екстракції в умовах дії ультразвуку частка вмісту олії у місцелі вища за частку вмісту олії у місцелі без використання ультразвуку практично протягом всього процесу екстракції, що свідчить про позитивний вплив ультразвуку на процес екстракції.

### 3. МАТЕМАЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Мета математичного моделювання:

8. Побудувати математичну модель процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без ультразвуку для встановлення кінетики процесу і визначення коефіцієнтів дифузії.
9. Побудувати математичну модель процесу екстракції олії в акустичному екстракторі.

#### 3.1 Математичне моделювання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без ультразвуку для встановлення кінетики процесу і визначення коефіцієнтів дифузії

Для визначення коефіцієнтів дифузії складаємо математичну модель процесу в якій основною структурною одиницею речовини є клітина.

В процесі екстракції олія вилучається з твердих частинок сировини. Запишемо рівняння, що виражають зміну концентрації олії в об'ємі клітин  $C_{кл}$  в об'ємі екстрагента  $C_{ек}$  в міжклітинному просторі [52]:

$$\begin{cases} \frac{dC_{кл}}{d\tau} = -K_c (C_{кл} - C_{ек}) \\ \frac{dC_{ек}}{d\tau} = K_c (C_{кл} - C_{ек}) - K_m (C_{кл} - C_{ек}) \end{cases}, \quad (3.1)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт масопереносу через клітинну оболонку;

$K_m$  – коефіцієнт масовіддачі в міжклітинному просторі.

Початкові умови [52]:

$$\tau = 0 \quad C_{кл} = C_{кл\ n} \quad C_{ек} = 0 \quad (3.2)$$

Значення коефіцієнтів  $K_c$  і  $K_m$  знаходимо з рівнянь [52]:

$$K_c = \frac{D_c}{\delta_c \cdot R_{екв}} \quad (3.3)$$

$$K_m = \frac{D_m}{d \cdot R_m} \quad (3.4)$$

де  $D_c$  – коефіцієнт дифузії олії через клітинну оболонку;

$\delta_c = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$  – товщина клітинної оболонки [1];

$d_c = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$  – розмір рослинної клітини [1];

$R_{екв}$  – еквівалентний розмір клітини;

$d$  – розмір екстрагованої частинки;

$R_m$  – приведений радіус екстрагованої частинки, для клітин сферичної форми

$$R_{екв} = \frac{d_c}{2};$$

$D_m$  – коефіцієнт дифузії в міжклітинному середовищі.

Для визначення зміни концентрації олії в основній масі екстрагенту запишемо рівняння матеріального балансу [52]:

$$V \cdot \varepsilon \cdot C_{клн} = V \cdot \varepsilon \cdot C_{кл}(\tau) + V \cdot (1 - \varepsilon) \cdot C_{ек}(\tau) + W \cdot C_m(\tau) \quad (3.5)$$

де  $W$  – об'єм екстрагенту;

$V$  – об'єм екстрагенту, що міститься у вільному просторі твердої фази;

$\varepsilon$  – порозність шару сировини.

З урахуванням того, що зміну концентрації олії в  $C$  процесі екстрагування можна описати виразом [52]:

$$C = C_p (1 - A e^{-k\tau}) \quad (3.6)$$

де  $C_p$  – рівноважна концентрація олії в екстрагенті;

$k$  – коефіцієнт, що характеризує перенос маси речовини;

$A$  – число вимивання, коефіцієнт, що характеризує співвідношення коефіцієнтів переносу маси.

Тоді розв'язок системи рівнянь (3.1) з початковими умовами (3.2) і рівняння (3.5) можна записати у вигляді [52]:

- зміна концентрації олії в клітині:

$$C_{кл} = C_{клн} \cdot e^{-k_c \tau}; \quad (3.7)$$

- зміна концентрації олії в міжклітинному просторі:

$$C_{ек} = C_{екн} \cdot A [e^{-k_c \tau} - e^{-k_m \tau}]; \quad (3.8)$$

- зміна концентрації олії в основному об'ємі екстрагенту:



$$C_m - C_{mH} \cdot [1 - A \cdot \exp(-(k_m - k_c))\tau]. \quad (3.9)$$

Останнє рівняння можна записати у вигляді [52]:

$$\left(1 - \frac{C_m}{C_{mp}}\right) = A \cdot \exp(-k \cdot \tau) \quad (3.10)$$

$$K = K_m - K_c \quad (3.11)$$

$$A = \frac{1}{1 + \frac{k_m}{k_c}} \quad (3.12)$$

Процес проникнення екстрагенту у сировину, який відбувається за рахунок капілярних сил може бути досить тривалим у зв'язку з тим, що повітря в клітинній тканині заважає руху рідини. [52]

Дана математична модель використовується для визначення коефіцієнта дифузії олії через клітинну оболонку та коефіцієнта дифузії в міжклітинному середовищі на основі обробки експериментальних даних кінетики процесу екстракції в умовах ультразвуку і без нього.

### 3.2. Математична модель процесу екстракції олії в акустичному екстракторі

#### 3.2.1. Аналіз факторів, що впливають на інтенсивність процесу екстракції

Дослідження екстракції цільових продуктів з частинок рослинної сировини показали, що процеси масопереносу проходять шляхом розчинення цільового продукту на стінках пор або у розчині всередині пор.

Важливим елементом процесу екстракції з точки зору тривалості процесу є проникнення екстрагенту в сировину, яке відбувається за рахунок капілярних сил. Цьому проникненню заважає повітря, яке знаходиться в капілярах і клітинах рослинної сировини. Час проникнення визначається швидкістю дифузії повітря крізь рідину.

Розчинення цільового продукту, що знаходиться на стінках зруйнованих клітин залежить від гідродинамічних умов омивання частинок сировини екстрагентом.

Перенос цільового продукту через стінку рослинних клітин розглядається як процес масопереносу через напівпроникну мембрану.

Масоперенос з поверхні твердих частинок в місцелу (розчин олії в екстрагенті) залежить від гідродинамічних умов омивання частинок місцелюю і відбувається головним чином за рахунок конвективної дифузії. При створенні інтенсивного руху місцели через шар частинок сировини вплив молекулярної дифузії є незначним. Для інтенсифікації процесу масопереносу з поверхні твердих частинок в місцелу, що характеризується коефіцієнтом масовіддачі, необхідно забезпечити проникання місцели крізь частинки, попередити злежування твердих частинок в шарі, блокування поверхні частинок іншими частинками, зміни положення частинок в шарі, що досягається не тільки рухом місцели через шар, а й дією ультразвукового генератора.

### 3.2.2. Аналіз технологічних особливостей процесів в акустичному екстракторі

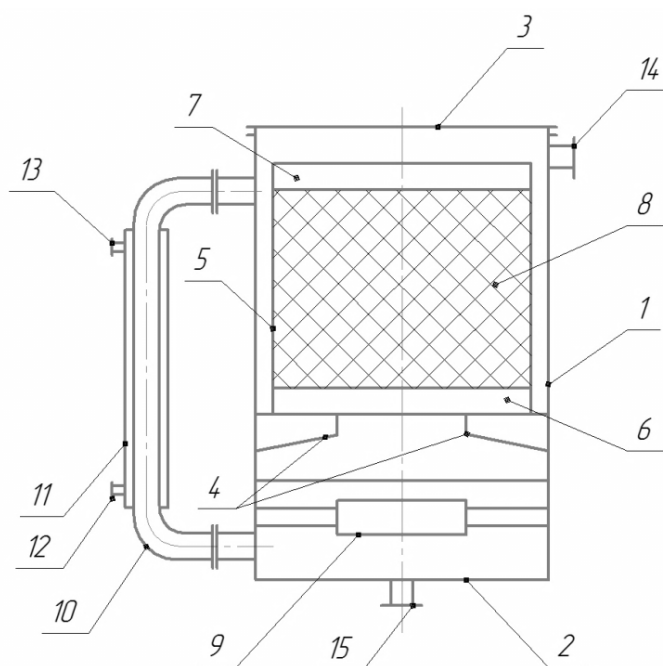


Рис. 3.1. Схема акустичного екстрактора

В акустичному екстракторі рослинна сировина у вигляді дрібних частинок завантажена у циліндричний корпус 1, до якого кріпиться на фланцях днище 2 та кришка 3. В корпусі 1 на опорній підставці 4 встановлений контейнер 5, який виготовлено з нижнього та верхнього кілець 6 і 7 і сітки 8. В нижній частині

корпусу закріплений генератор 9 ультразвукових коливань. Зовні корпусу 1 закріплена циркуляційна труба 10 з кожухом 11, в який через штуцери 12 підводиться і 13 відводиться теплоносієм. Екстрагент в корпус екстрактора підводиться через штуцер 14, а відводиться через штуцер 15.

Акустичний екстрактор працює наступним чином.

Перед кожним циклом роботи акустичний екстрактор очищують від залишків сировини, промивають миючими засобами, ополіскують водою, при необхідності пропарюють гострою парою. Контейнер 5 завантажують сировиною поза межами акустичного екстрактора та фіксують в робочому положенні. Закріплюють кришку 3 до корпусу 1 апарата. В апарат подають екстрагент через штуцер 14. Вмикають генератор 10 ультразвукових коливань і насос.

Екстрагент проходить через шар твердих частинок в контейнері 5 і надходить до циркуляційної труби 10, де охолоджується теплоносієм, який подається в кожух 11 через штуцер 12 і виходить через штуцер 13, до робочої температури.

Тривалість процесу екстракції визначається швидкістю масопереносу всередині частинки рослинної сировини, опором дифузійного шару на поверхні частинки та конвективним опором в екстрагенті.

Позначимо  $V_{ек}$  – об'єм рідини, що циркулює в одиницю часу через акустичний екстрактор.  $C_{ек}$  – поточна концентрація олії в екстрагенті,  $K$  – коефіцієнт масопередачі від частинки твердої фази (сировини) до екстрагенту.  $C_{ТВ}$  – поточна концентрація олії в сировині,  $V_{тв}$  – об'єм твердих частинок сировини. За час  $\Delta\tau$  в екстракторі перебуває об'єм  $V_{ек} = g_{ек} \cdot \Delta\tau$ .

Тоді маса олії, що надходить за одиницю часу в екстрагент визначається за допомогою виразу:

$$\Delta m_{тв} = V_{ек} \cdot \frac{dC_{тв}}{d\tau}. \quad (3.13)$$

Маса олії, що екстрагується з рослинної сировини в одиницю часу:

$$\Delta m = K(C_{m\phi} - C_{m\phi p}) \cdot F, \quad (3.14)$$

де  $F$  – поверхня об'єму твердих частинок.

Тоді рівняння матеріального балансу для екстрагента і твердих частинок запишемо у вигляді:

$$\Delta m_{ек} = \Delta m \quad (3.15)$$

$$-\Delta m_{m\phi} = \Delta m \quad (3.16)$$

або враховуючи вирази ( 3.17) -( 3.20 ):

$$V_{ек} \frac{dC_{ек}}{d\tau} = K(C_{ек p} - C_{ек}) \cdot F \quad (3.17)$$

$$-V_{m\phi} \frac{dC_{m\phi}}{d\tau} = K(C_{m\phi p} - C_{m\phi}) \cdot F \quad (3.18)$$

В початковий момент часу:

$$\begin{aligned} \tau = 0 \quad C_{m\phi} &= C_{m\phi н} \\ C_{ек} &= C_{ек н} \end{aligned} \quad (3.19)$$

де  $C_{m\phi н}$  і  $C_{ек н}$  – концентрація олії в твердих частинках сировини і екстрагенті відповідно.

### 3.2.3. Визначення коефіцієнту масопередачі $K$

З точки зору явищ масопереносу механізм екстракції олії з окремої частинки рослинної сировини складається з процесу проникнення екстрагента в проміжки між частинками і в пори сировини за рахунок капілярних сил. При цьому екстрагент розчиняє олію на поверхні частинок, на стінках пор і в глибині частинки. [1, 11, 19]

Розчинена в екстрагенті олія рухається до поверхні частинки в порах, капілярах через незруйновані стінки клітин і перегородки вторинних структур. Через примежовий або дифузійний шар рідини, що оточує частинку олія в потоці розчинника виходить на поверхню частинки і далі поступає в потік місцели, що рухається через шар твердих частинок.

Для якісного і кількісного описання процесу переносу маси при екстракції використовують [1, 11, 19]:

1. Коефіцієнт внутрішньої дифузії  $D_{\text{вн}}$ , що характеризує швидкість масопереносу всередині частинки рослинної сировини.
2. Коефіцієнт вільної дифузії  $D_{\text{мд}}$ , що характеризує масоперенос в клітковому соку і дифузійному примежовому шарі.
3. Коефіцієнт конвективної дифузії  $\beta$ .

Коефіцієнт масопередачі при екстрагування з рослинної сировини визначається формулою [1, 11, 19]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{l}{D_{\text{вн}}} + \frac{s}{D_{\text{мд}}}}, \quad (3.20)$$

де  $D_{\text{мд}}$  – коефіцієнт молекулярної дифузії;

$D_{\text{вн}}$  – коефіцієнт масопровідності або внутрішньої дифузії;

$\beta$  – коефіцієнт конвективної дифузії;

$l$  – розмір частинок сировини;

$s$  – товщина примежового шару.

Коефіцієнт молекулярної дифузії [11, 19]:

$$D_{\text{мд}} = \frac{k_0 \cdot T}{6\pi\mu r}, \quad (3.21)$$

де  $k_0$  – постійна Больцмана;

$T$  – абсолютна температура процесу;

$r$  – радіус дифундуючих частинок;

$\mu$  – в'язкість рідкого середовища.

Коефіцієнт внутрішньої дифузії в порах рослинної сировини відрізняється від коефіцієнта вільної дифузії і визначається рівнянням [1, 11, 19]:

$$D_{\text{вн}} = \frac{k_0 \cdot T \cdot B}{6\pi\mu r}, \quad (3.22)$$

де  $B$  – поправочний коефіцієнт.

В разі відсутності значення  $B$  коефіцієнт  $D_{\text{вн}}$  визначається експериментально.

### 3.2.4. Визначення еквівалентного діаметру частинок сировини і питомої площі поверхні шару частинок

Для шару твердих частинок сферичної форми площа поверхні визначається за формулою [53, 54]:

$$n = \frac{6V_{\text{мс}}}{\pi d_{\text{мс}}^3}, \quad (3.23)$$

$$V_{\text{мс}} = \frac{m_{\text{мс}}}{\rho_{\text{мс}}}, \quad (3.24)$$

де  $m_{\text{мс}}$  – маса твердих частинок, що поступають на екстракцію,

$\rho_{\text{мс}}$  – густина твердих частинок.

Або з врахуванням виразу (3.27):

$$F = \frac{6m_{\text{мс}}}{\rho_{\text{мс}} \cdot d_{\text{мс}}}, \quad (3.25)$$

Еквівалентний діаметр твердої частинки при умові, що вона має форму кулі:

$$d_{\text{екв}} = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \cdot V_{\text{мс}}} = 1,24 \sqrt[3]{\frac{m_{\text{мс}}}{\rho_{\text{мс}}}}. \quad (3.26)$$

Поверхню нерухомого шару твердих частинок сферичної форми знаходять за формулою [53, 54]:

$$f_{\text{ш}} = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_{\text{екв}}}. \quad (3.27)$$

Для частинок, що мають форму відмінну від сферичної площа поверхні частинок:

$$f = \psi \cdot f_{\text{ш}} \quad (3.28)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт форми [53, 54]:

Таблиця 3.1. Коефіцієнти для різних форм частинок

Форма частинок	$\psi$
округла	0,77
вугловата	0,66
повздовжня	0,58
пластинчаста	0,73

## 3.2.5. Визначення коефіцієнта масовіддачі.

Для визначення коефіцієнту масовіддачі  $\beta$  скористуємося емпіричною формулою виду [54], що описує масообмін при русі екстрагента через шар твердих частинок сировини:

$$Nu_D = 2 + 0,57 \cdot (Ar_D \cdot Pr_D)^{0,25} + 0,35 \cdot (Re \cdot \sqrt{Pr_D})^{0,62} \quad (3.29)$$

де  $Re = \frac{W \cdot d_{m\phi}}{\nu_{ек}}$  – критерій Рейнольдса;

$Nu_D = \frac{\beta \cdot d_{m\phi}}{D_{ек}}$  – дифузійний критерій Нусельта;

$Ar_D = \frac{g \cdot d_{m\phi}^3}{\nu_{ек}^2} \cdot \left( \frac{\rho_n - \rho_k}{\rho_{ек}} \right)$  – критерій Архімеда;

$Pr_D = \frac{\nu_{ек}}{D_{ек}}$  – дифузійний критерій Прандтля;

$d_{m\phi}$  – еквівалентний діаметр частинок сировини (додати стр. з характеристикою шару твердих частинок);

$W$  – середня швидкість екстрагента через шар частинок сировини,

$\rho_n$  – густина екстрагента в стані насичення олією;

$\rho_{ек}$  – середня густина розчину олії в екстрагенті в процесі екстракції;

$\nu_{ек}$  – середнє значення коефіцієнту кінематичної в'язкості розчину олії в екстрагенті;

$D_{ек}$  – коефіцієнт дифузії олії в екстрагенті.

Якщо відома порозність шару твердих часточок, критерій Рейнольдса можна знайти за формулою [55]:

$$Re = \frac{W_0 \cdot d_{екв} \cdot \rho}{\mu} = \frac{W_0 \cdot 4 \cdot \varepsilon \cdot \rho}{(\varepsilon \cdot f \cdot \mu)} = \frac{4 \cdot W_0 \cdot \rho}{(f \cdot \mu)}, \quad (3.30)$$

$$\text{де } W_0 = \frac{4 \cdot V_{ек}}{\pi D}$$

$f$  – питома поверхня одиниці об'єму сировини;

$\varepsilon$  – середня порозність шару сировини,  $\varepsilon = 0,3675$  [1].

### 3.2.6. Визначення тривалості процесу екстракції олії з рослинної сировини

Для визначення тривалості процесу екстракції олії розв'язуємо рівняння, що описує зміну концентрації олії в твердих часточках в процесі екстракції. [54]

$$V_{мс} \frac{dC_{мс}}{d\tau} = K \cdot F \cdot (C_{мс} - C_{мс\ p}) \quad (3.31)$$

Перетворюємо рівняння (3. 35) до виду:

$$dC_{мс} = \frac{K \cdot F}{V_{мс}} \cdot (C_{мс} - C_{мс\ p}) \cdot d\tau \quad (3.32)$$

Вводимо змінну  $x$ :

$$x = C_{мс} - C_{мс\ p} \quad (3.33)$$

Тоді рівняння (3.36) приймає вигляд:

$$-\frac{dx}{x} = \frac{K \cdot F}{V_{мс}} \cdot d\tau \quad (3.34)$$

Інтегруємо праву і ліву частини рівняння і після:

$$\int_{x_n}^{x_k} \ln \frac{dx}{x} = -\frac{K \cdot F}{V_{мс}} \cdot \int_0^{\tau_k} d\tau \quad (3.35)$$

Після інтегрування знаходимо вираз для тривалості процесу екстракції в акустичному екстракторі:

$$\tau_k = \frac{V_{мс}}{K \cdot F} \cdot \ln \frac{C_{мс\ n} - C_{мс\ p}}{C_{мс\ k} - C_{мс\ p}} \quad (3.36)$$



### 3.3. Результати розрахунків

#### 3.3.1. Визначення коефіцієнтів дифузії процесу екстракції з рослинної сировини в умовах ультразвуку

З рівняння зміни концентрації олії в основному об'ємі екстрагенту:

$$\left(1 - \frac{C_m}{C_{mp}}\right) = A \cdot \exp(-K \cdot \tau), \quad (3.37)$$

знаходимо відношення

$$\ln\left(1 - \frac{C_{mi}}{C_{mp}}\right), \quad (3.38)$$

і будуємо графік отриманих значень від часу екстрагування  $t_{екс}$ .

Таблиця 3.2. Результати розрахунків

Умови	№ проби	$t_{екс}, c$	$C_{mi}, \frac{K\mathcal{C}}{M^3},$	$C_{mp}, \frac{K\mathcal{C}}{M^3}$	$\ln\left(1 - \frac{C_{mi}}{C_{mp}}\right)$
Без ультразвуку	1	60	30,333	55,786	-0,7847
	2	120	37,624		-1,1222
	3	300	41,244		-1,3445
	4	600	43,927		-1,5484
	5	1200	46,269		-1,7684
	6	1800	48,155		-1,9893
Ультразвук	1	60	32,873	59,755	-0,7988
	2	120	35,016		-0,8819
	3	300	42,212		-1,2256
	4	600	48,657		-1,6835
	5	1200	55,682		-2,6859
	6	1800	55,786		-2,7117

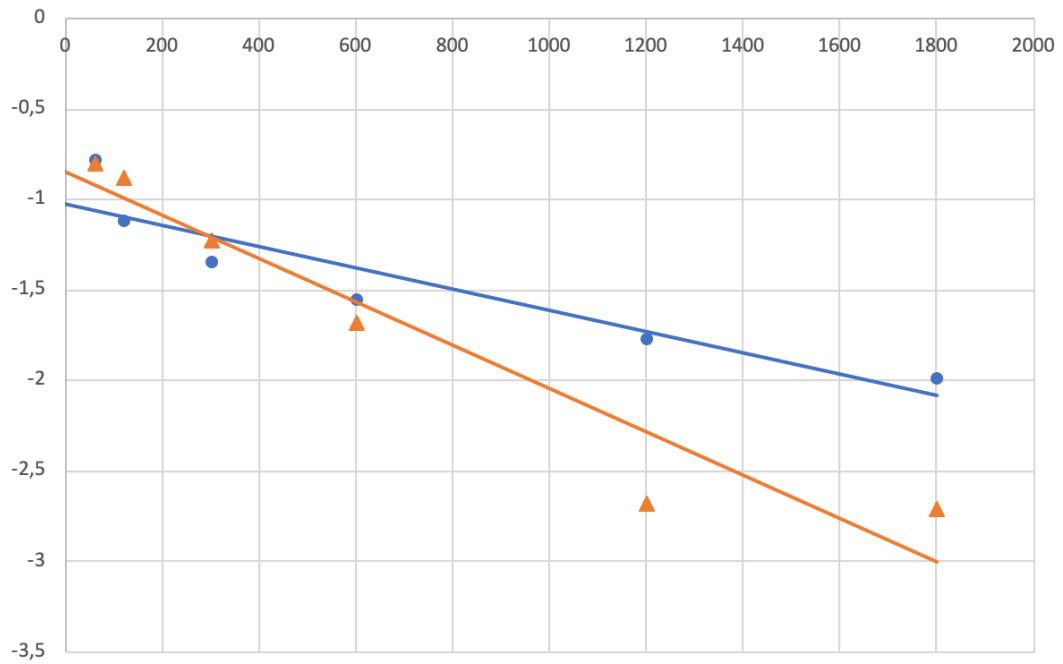


Рис. 3.2. Залежність  $\ln\left(1 - \frac{C_{mi}}{C_{mp}}\right)$  від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

$K$ , коефіцієнт, що характеризує перенос маси речовини знаходимо, як тангенс кута нахилу графіку:

$$K = \operatorname{tg} \alpha_1 = -0,0053 \text{ – без ультразвуку;} \quad (3.39)$$

$$K = \operatorname{tg} \alpha_2 = -0,0052 \text{ – з ультразвуком.} \quad (3.40)$$

$A$  – число вимивання, коефіцієнт, що характеризує співвідношення коефіцієнтів переносу маси знаходимо з виразу:

$$A_1 = e^{(y(0))} = e^{(-1,05)} = 0,349 \quad (3.41)$$

$$A_2 = e^{(y(0))} = e^{(-0,85)} = 0,427 \quad (3.42)$$

З системи рівнянь знаходимо коефіцієнти  $K_m$  і  $K_c$ :

$$\begin{cases} K = K_m - K_c \\ A = \frac{1}{1 + \frac{K_m}{K_c}} \end{cases} \quad (3.43)$$

Таблиця 3.3. Значення коефіцієнтів  $K_m$  і  $K_c$ 

Умови	$K_m$	$K_c$
Без ультразвуку	0,0114	0,0167
Ультразвук	0,0204	0,0256

З рівняння

$$K_c = \frac{D_c}{\delta_c \cdot R_{екв}}, \quad (3.44)$$

знаходимо значення коефіцієнту дифузії олії через клітинну оболонку:

$$D_c = K_c \cdot \delta_c \cdot R_{екв} \quad (3.45)$$

де  $\delta_c = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$  – товщина клітинної оболонки сої; $R_{екв}$  – еквівалентний розмір клітини,  $R_{екв} = \frac{d_c}{2} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ .

З рівняння

$$K_m = \frac{D_m}{d \cdot R_m}, \quad (3.46)$$

знаходимо значення коефіцієнту масовіддачі в міжклітинному просторі:

$$D_m = K_m \cdot d \cdot R_m, \quad (3.47)$$

де  $d$  – розмір екстрагованої частинки; $R_m$  – приведений радіус екстрагованої частинки,  $R_m = \frac{d}{2}$ .

Розмір твердої частинки:

$$V = \frac{m_q}{\rho} = \frac{1,04 \cdot 10^{-5}}{720} = 1,4 \cdot 10^{-8}; \quad (3.48)$$

$$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}; \quad (3.49)$$

Звідки

$$d = 1,24 \cdot \sqrt[3]{V} = 1,24 \cdot \sqrt[3]{1,4 \cdot 10^{-8}} = 2,9 \cdot 10^{-3} \quad (3.50)$$

$$R_m = 1,45 \cdot 10^{-3} \quad (3.51)$$

Таблиця 3.4. Значення коефіцієнтів дифузії

Умови	$D_c$	$D_m$
Без ультразвуку	$2,9 \cdot 10^{-13}$	$4,79 \cdot 10^{-8}$
Ультразвук	$4,5 \cdot 10^{-13}$	$8,58 \cdot 10^{-8}$

## 3.3.2. Визначення коефіцієнтів масопередачі та часу екстракції

Розрахунки проводились в програмному середовищі MathCad 15.

Розрахунки проводились для  $W = 0,015 \frac{M}{c}$ ,  $W = 0,02 \frac{M}{c}$ ,  $W = 0,03 \frac{M}{c}$ .

1. Випадок  $W = 0,015 \frac{M}{c}$ 

Умови: без ультразвуку.

Вихідні дані:

$$\begin{aligned} W &:= 0.015 & \rho_n &:= 1288 & \nu_{екс} &:= 2.25 \cdot 10^{-7} & \delta &:= 0.7 \cdot 10^{-6} \\ Декс &:= 0.28 \cdot 10^{-5} & \rho_k &:= 927 & дтв &:= 2.9 \cdot 10^{-3} & s &:= 0.05 \cdot 10^{-3} \\ Дм &:= 4.79 \cdot 10^{-8} & рекс &:= 1325 & мтв &:= 1000 & g &:= 9.81 \\ Dc &:= 2.9 \cdot 10^{-13} & ртв &:= 720 \end{aligned}$$

$$Ar := \frac{g \cdot (дтв)^3}{(\nu_{екс})^2} \cdot \left( \frac{\rho_n - \rho_k}{\rho_{екс}} \right) = 1.288 \times 10^6$$

$$Pr := \frac{\nu_{екс}}{Декс} = 803.571$$

$$Re := \frac{W \cdot дтв}{\nu_{екс}} = 193.333$$

$$Nu := 2 + 0.57 \cdot (Ar \cdot Pr)^{0.25} + 0.35 \cdot (Re - \sqrt{Pr})^{0.62} = 112.526$$

$$\beta := \frac{Nu \cdot Декс}{дтв} = 1.086 \times 10^{-5}$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\delta}{Dc} + \frac{s}{Dm}} = 3.989 \times 10^{-7}$$

$$F := \frac{6 \cdot мтв}{\rho_{тв} \cdot дтв} = 2.874 \times 10^3$$

$$V_{тв} := \frac{мтв}{\rho_{тв}}$$

$$\tau_k := \frac{V_{тв}}{K \cdot F} \cdot \ln \left( \frac{50 - 2}{5 - 2} \right) = 3.359 \times 10^3$$

Умови: ультразвук.

Вихідні дані:

$$\begin{aligned} W &:= 0.015 & \rho_n &:= 1288 & \nu_{екс} &:= 2.25 \cdot 10^{-7} & \delta &:= 0.7 \cdot 10^{-6} \\ Декс &:= 0.28 \cdot 10^{-5} & \rho_k &:= 927 & дтв &:= 2.9 \cdot 10^{-3} & s &:= 0.05 \cdot 10^{-3} \\ Дм &:= 8.58 \cdot 10^{-8} & рекс &:= 1325 & мтв &:= 1000 & g &:= 9.81 \\ Dc &:= 4.5 \cdot 10^{-13} & ртв &:= 720 \end{aligned}$$

$$Ar := \frac{g \cdot (дтв)^3}{(\nu_{екс})^2} \cdot \left( \frac{\rho_n - \rho_k}{\rho_{екс}} \right) = 1.288 \times 10^6$$

$$Pr := \frac{\nu_{екс}}{Декс} = 803.571$$

$$Re := \frac{W \cdot дтв}{\nu_{екс}} = 193.333$$

$$Nu := 2 + 0.57 \cdot (Ar \cdot Pr)^{0.25} + 0.35 \cdot (Re - \sqrt{Pr})^{0.62} = 112.526$$

$$\beta := \frac{Nu \cdot Декс}{дтв} = 1.086 \times 10^{-5}$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\delta}{Dc} + \frac{s}{Dm}} = 6.067 \times 10^{-7}$$

$$F := \frac{6 \cdot мтв}{\rho_{тв} \cdot дтв} = 2.874 \times 10^3$$

$$V_{тв} := \frac{мтв}{\rho_{тв}}$$

$$\tau_k := \frac{V_{тв}}{K \cdot F} \cdot \ln \left( \frac{50 - 2}{5 - 2} \right) = 2.209 \times 10^3$$

## 2. Випадок $W = 0,02 \frac{M}{c}$

Умови: без ультразвуку.

Вихідні дані:

$$\begin{aligned} W &:= 0.02 & \rho_H &:= 1288 & \nu_{\text{екс}} &:= 2.25 \cdot 10^{-7} & \delta_{\text{л}} &:= 0.7 \cdot 10^{-6} \\ \text{Декс} &:= 0.28 \cdot 10^{-9} & \rho_K &:= 927 & \text{дтв} &:= 2.9 \cdot 10^{-3} & s_{\text{л}} &:= 0.05 \cdot 10^{-3} \\ D_M &:= 4.79 \cdot 10^{-8} & \text{рекс} &:= 1325 & \text{мтв} &:= 1000 & g_{\text{л}} &:= 9.81 \\ D_c &:= 2.9 \cdot 10^{-13} & \rho_{\text{тв}} &:= 720 & & & & \end{aligned}$$

$$Ar := \frac{g \cdot (\text{дтв})^3}{(\nu_{\text{екс}})^2} \cdot \left( \frac{\rho_H - \rho_K}{\rho_{\text{екс}}} \right) = 1.288 \times 10^6$$

$$Pr := \frac{\nu_{\text{екс}}}{\text{Декс}} = 803.571$$

$$Re := \frac{W \cdot \text{дтв}}{\nu_{\text{екс}}} = 257.778$$

$$Nu := 2 + 0.57 \cdot (Ar \cdot Pr)^{0.25} + 0.35 \cdot (Re - \sqrt{Pr})^{0.62} = 114.408$$

$$\beta := \frac{Nu \cdot \text{Декс}}{\text{дтв}} = 1.105 \times 10^{-5}$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\delta}{D_c} + \frac{s}{D_M}} = 3.991 \times 10^{-7}$$

$$F := \frac{6 \cdot \text{мтв}}{\rho_{\text{тв}} \cdot \text{дтв}} = 2.874 \times 10^3$$

$$V_{\text{тв}} := \frac{\text{мтв}}{\rho_{\text{тв}}}$$

$$\tau_K := \frac{V_{\text{тв}}}{K \cdot F} \cdot \ln \left( \frac{50 - 2}{5 - 2} \right) = 3.357 \times 10^3$$

Умови: ультразвук.

Вихідні дані:

$$\begin{aligned} W &:= 0.02 & \rho_H &:= 1288 & \nu_{\text{екс}} &:= 2.25 \cdot 10^{-7} & \delta_{\text{л}} &:= 0.7 \cdot 10^{-6} \\ \text{Декс} &:= 0.28 \cdot 10^{-9} & \rho_K &:= 927 & \text{дтв} &:= 2.9 \cdot 10^{-3} & s_{\text{л}} &:= 0.05 \cdot 10^{-3} \\ D_M &:= 8.58 \cdot 10^{-8} & \text{рекс} &:= 1325 & \text{мтв} &:= 1000 & g_{\text{л}} &:= 9.81 \\ D_c &:= 4.5 \cdot 10^{-13} & \rho_{\text{тв}} &:= 720 & & & & \end{aligned}$$

$$Ar := \frac{g \cdot (\text{дтв})^3}{(\nu_{\text{екс}})^2} \cdot \left( \frac{\rho_H - \rho_K}{\rho_{\text{екс}}} \right) = 1.288 \times 10^6$$

$$Pr := \frac{\nu_{\text{екс}}}{\text{Декс}} = 803.571$$

$$Re := \frac{W \cdot \text{дтв}}{\nu_{\text{екс}}} = 257.778$$

$$Nu := 2 + 0.57 \cdot (Ar \cdot Pr)^{0.25} + 0.35 \cdot (Re - \sqrt{Pr})^{0.62} = 114.408$$

$$\beta := \frac{Nu \cdot \text{Декс}}{\text{дтв}} = 1.105 \times 10^{-5}$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\delta}{D_c} + \frac{s}{D_M}} = 6.073 \times 10^{-7}$$

$$F := \frac{6 \cdot \text{мтв}}{\rho_{\text{тв}} \cdot \text{дтв}} = 2.874 \times 10^3$$

$$V_{\text{тв}} := \frac{\text{мтв}}{\rho_{\text{тв}}}$$

$$\tau_K := \frac{V_{\text{тв}}}{K \cdot F} \cdot \ln \left( \frac{50 - 2}{5 - 2} \right) = 2.207 \times 10^3$$

## 3. Випадок $W = 0,03 \frac{M}{c}$

Умови: без ультразвуку.

Вихідні дані:

$$\begin{aligned} W &:= 0.03 & \rho_H &:= 1288 & \nu_{\text{екс}} &:= 2.25 \cdot 10^{-7} & \delta_{\text{л}} &:= 0.7 \cdot 10^{-6} \\ \text{Декс} &:= 0.28 \cdot 10^{-9} & \rho_K &:= 927 & \text{дтв} &:= 2.9 \cdot 10^{-3} & s_{\text{л}} &:= 0.05 \cdot 10^{-3} \\ D_M &:= 4.79 \cdot 10^{-8} & \text{рекс} &:= 1325 & \text{мтв} &:= 1000 & g_{\text{л}} &:= 9.81 \\ D_c &:= 2.9 \cdot 10^{-13} & \rho_{\text{тв}} &:= 720 & & & & \end{aligned}$$

$$Ar := \frac{g \cdot (\text{дтв})^3}{(\nu_{\text{екс}})^2} \cdot \left( \frac{\rho_H - \rho_K}{\rho_{\text{екс}}} \right) = 1.288 \times 10^6$$

$$Pr := \frac{\nu_{\text{екс}}}{\text{Декс}} = 803.571$$

$$Re := \frac{W \cdot \text{дтв}}{\nu_{\text{екс}}} = 386.667$$

$$Nu := 2 + 0.57 \cdot (Ar \cdot Pr)^{0.25} + 0.35 \cdot (Re - \sqrt{Pr})^{0.62} = 117.649$$

$$\beta := \frac{Nu \cdot \text{Декс}}{\text{дтв}} = 1.136 \times 10^{-5}$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\delta}{D_c} + \frac{s}{D_M}} = 3.995 \times 10^{-7}$$

$$F := \frac{6 \cdot \text{мтв}}{\rho_{\text{тв}} \cdot \text{дтв}} = 2.874 \times 10^3$$

$$V_{\text{тв}} := \frac{\text{мтв}}{\rho_{\text{тв}}}$$

$$\tau_K := \frac{V_{\text{тв}}}{K \cdot F} \cdot \ln \left( \frac{50 - 2}{5 - 2} \right) = 3.354 \times 10^3$$

Умови: ультразвук.

Вихідні дані:

$$\begin{aligned} W &:= 0.03 & \rho_H &:= 1288 & \nu_{\text{екс}} &:= 2.25 \cdot 10^{-7} & \delta_{\text{л}} &:= 0.7 \cdot 10^{-6} \\ \text{Декс} &:= 0.28 \cdot 10^{-9} & \rho_K &:= 927 & \text{дтв} &:= 2.9 \cdot 10^{-3} & s_{\text{л}} &:= 0.05 \cdot 10^{-3} \\ D_M &:= 8.58 \cdot 10^{-8} & \text{рекс} &:= 1325 & \text{мтв} &:= 1000 & g_{\text{л}} &:= 9.81 \\ D_c &:= 4.5 \cdot 10^{-13} & \rho_{\text{тв}} &:= 720 & & & & \end{aligned}$$

$$Ar := \frac{g \cdot (\text{дтв})^3}{(\nu_{\text{екс}})^2} \cdot \left( \frac{\rho_H - \rho_K}{\rho_{\text{екс}}} \right) = 1.288 \times 10^6$$

$$Pr := \frac{\nu_{\text{екс}}}{\text{Декс}} = 803.571$$

$$Re := \frac{W \cdot \text{дтв}}{\nu_{\text{екс}}} = 386.667$$

$$Nu := 2 + 0.57 \cdot (Ar \cdot Pr)^{0.25} + 0.35 \cdot (Re - \sqrt{Pr})^{0.62} = 117.649$$

$$\beta := \frac{Nu \cdot \text{Декс}}{\text{дтв}} = 1.136 \times 10^{-5}$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\delta}{D_c} + \frac{s}{D_M}} = 6.082 \times 10^{-7}$$

$$F := \frac{6 \cdot \text{мтв}}{\rho_{\text{тв}} \cdot \text{дтв}} = 2.874 \times 10^3$$

$$V_{\text{тв}} := \frac{\text{мтв}}{\rho_{\text{тв}}}$$

$$\tau_K := \frac{V_{\text{тв}}}{K \cdot F} \cdot \ln \left( \frac{50 - 2}{5 - 2} \right) = 2.203 \times 10^3$$

Таблиця 3.5. Результати розрахунків

Умови	$W, \frac{M}{c}$	Re	Nu	$\beta$	K	$\tau_k, хв$
Без ультразвуку	0,015	193,333	112,526	$1,086 \cdot 10^{-5}$	$3,989 \cdot 10^{-7}$	55,98
	0,02	257,778	114,408	$1,105 \cdot 10^{-5}$	$3,991 \cdot 10^{-7}$	55,95
	0,03	386,667	117,649	$1,136 \cdot 10^{-5}$	$3,995 \cdot 10^{-7}$	55,9
Ультразвук	0,015	193,333	112,526	$1,086 \cdot 10^{-5}$	$6,067 \cdot 10^{-7}$	36,8
	0,02	257,778	114,408	$1,105 \cdot 10^{-5}$	$6,073 \cdot 10^{-7}$	36,78
	0,03	386,667	117,649	$1,136 \cdot 10^{-5}$	$6,082 \cdot 10^{-7}$	36,7

### 3.3.3. Аналіз результатів розрахунку

За отриманими залежностями були проведені розрахунки коефіцієнтів дифузії, коефіцієнтів масопередачі та часу екстрагування.

Без використання ультразвуку час екстракції склав  $\tau_k = 56 хв$ , а з використання ультразвуку –  $\tau_k = 37 хв$ . Отже при використанні ультразвуку час екстракції олії з рослинної сировини зменшився у 1,5 рази. Отже ми можемо збільшити продуктивність екстрактора у 1,5 рази, порівняно з апаратами без використання ультразвуку.

### 3.4. Висновки

1. Проведено теоретичний аналіз процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без неї для описання кінетики процесу.
2. Розроблена математична модель процесу екстракції олії з рослинної сировини для встановлення залежності зміни концентрації олії в об'ємі клітин в міжклітинному просторі і в основному об'ємі екстрагенту.
3. На основі розв'язання математичної моделі і експериментальних даних встановлені коефіцієнти дифузії олії через клітинну оболонку і коефіцієнти дифузії в міжклітинному просторі.

4. Проведено теоретичний аналіз технологічних особливостей процесу екстракції олії з рослинної сировини в акустичному екстракторі.
5. Розроблено математичну модель процесу екстракції олії з рослинної сировини в акустичному екстракторі.
6. На основі розв'язання математичної моделі встановлено тривалість модель процесу екстракції олії з рослинної сировини.
7. Виконані розрахунки, з використанням знайдених експериментально значень коефіцієнтів дифузії олії через клітинну оболонку і коефіцієнтів дифузії в міжклітинному просторі.
8. Результати розрахунку свідчать, що тривалість процесу екстракції олії з рослинної сировини в акустичному екстракторі зменшується в 1,5 рази, що відбувається в екстракторі без використання ультразвуку.

#### 4. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Мета комп'ютерного моделювання:

1. Побудувати модель акустичного екстрактора та основних його конструктивних елементів.
2. Провести дослідження основних конструктивних елементів на дію зовнішніх та зовнішніх напружень.

##### 4.1. Вибір програмного забезпечення та побудова моделі

Для проведення комп'ютерного моделювання було обрано програмне забезпечення «SOLIDWORKS» який дає змогу побудувати 3D-модель апарату та провести аналіз основних конструктивних елементів в пакеті «Simulation».

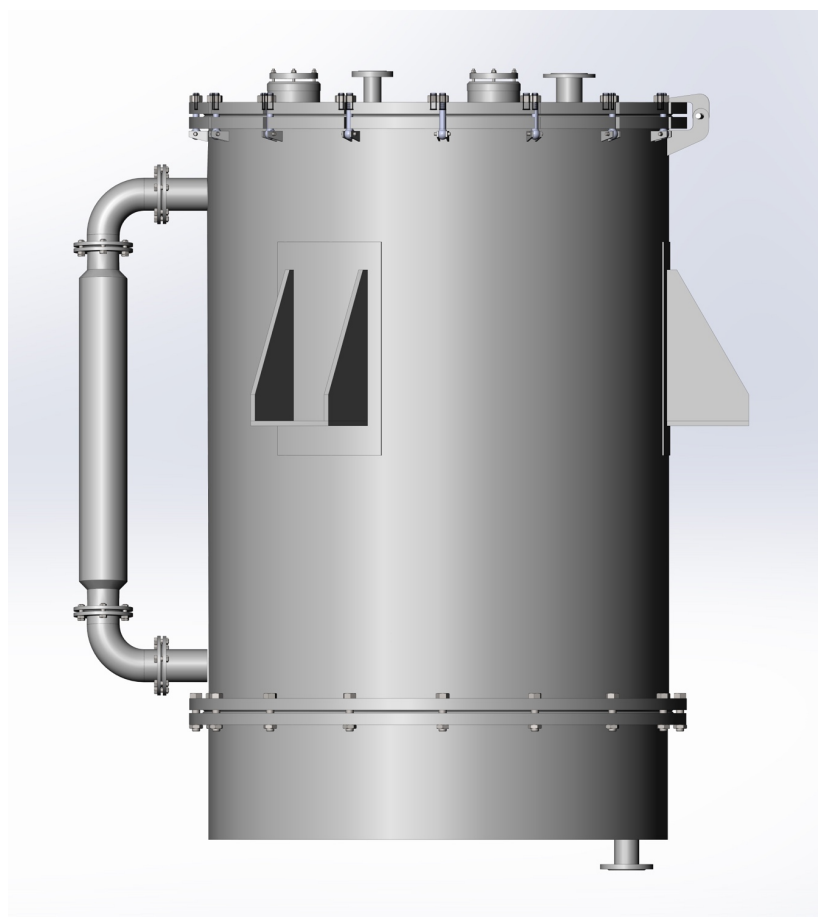


Рис. 4.1. 3D-модель акустичного екстрактора



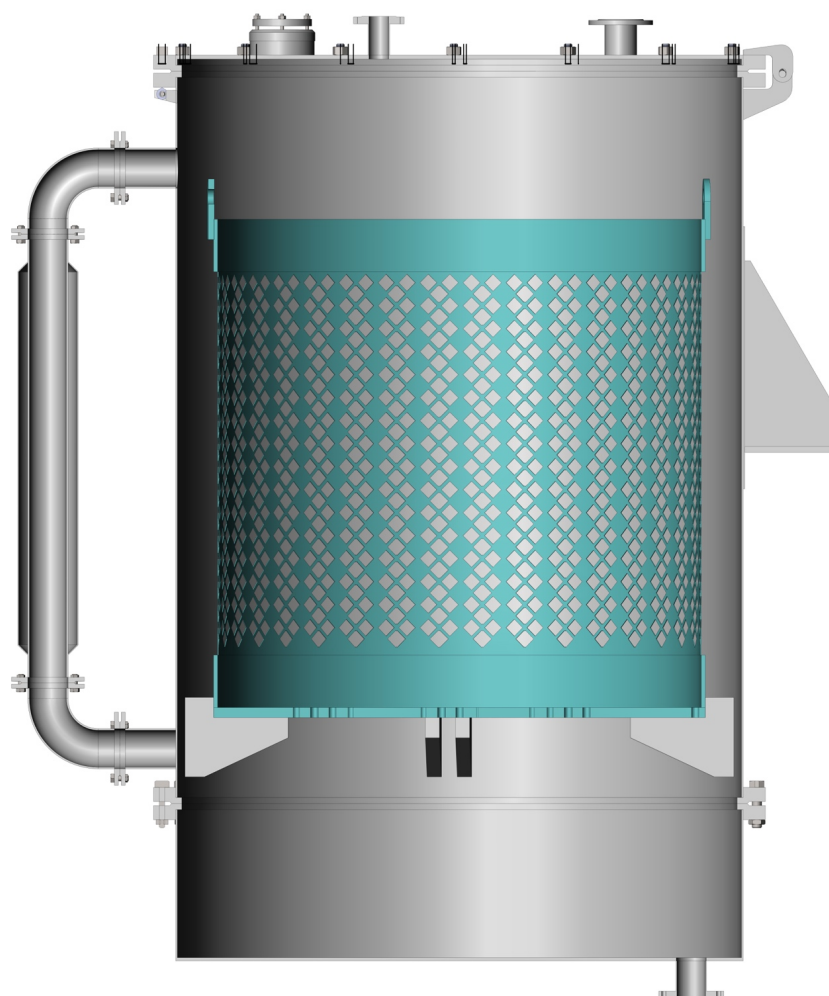


Рис. 4.2. Повздовжній переріз акустичного екстрактора

#### 4.2. Моделювання та дослідження основних конструктивних елементів

У обраній програмі була спроектована конструкція акустичного екстрактора з використанням реальних фізичних властивостей матеріалів.

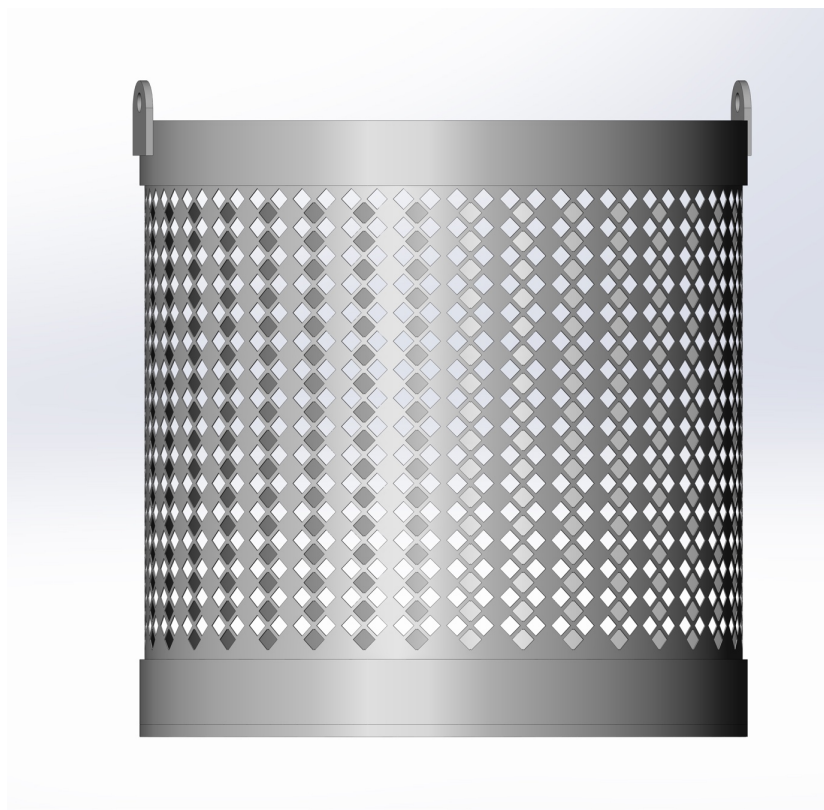


Рис. 4.3. Корзина

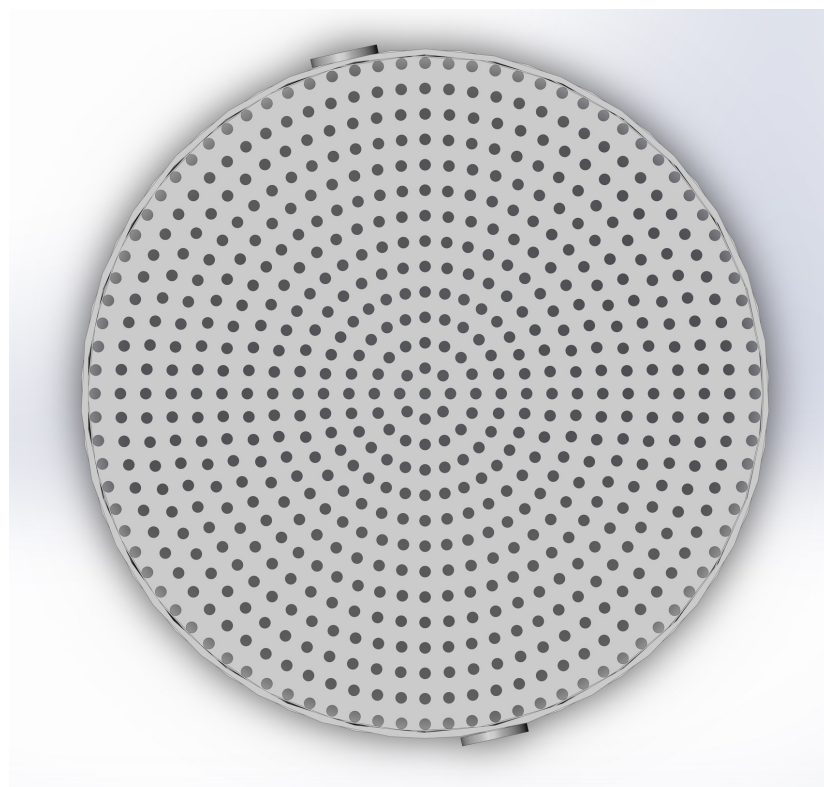


Рис 4.4. Перфорований диск корзини

Для візуалізації отворів сітки корзини розмір отворів на малюнку збільшений у порівнянні з реальними розмірами.

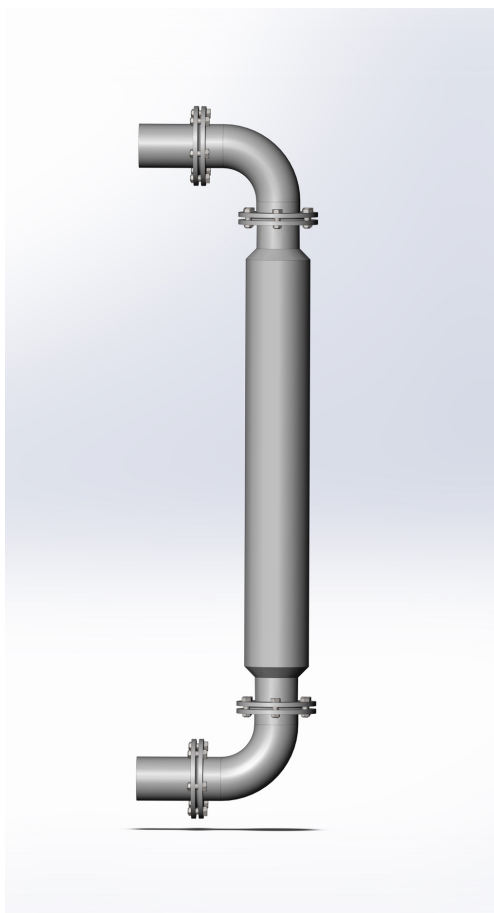


Рис. 4.5. Виносний теплообмінний елемент

Дослідження конструктивних елементів проводились на міцність та стійкість за заданим тиском  $P = 0,2$  МПа.

Имя модели: днище  
Имя исследования: Исследование 1  
Тип эпюры: Статический узловое напряжение Напряжение1  
Шкала деформации: 0.298207

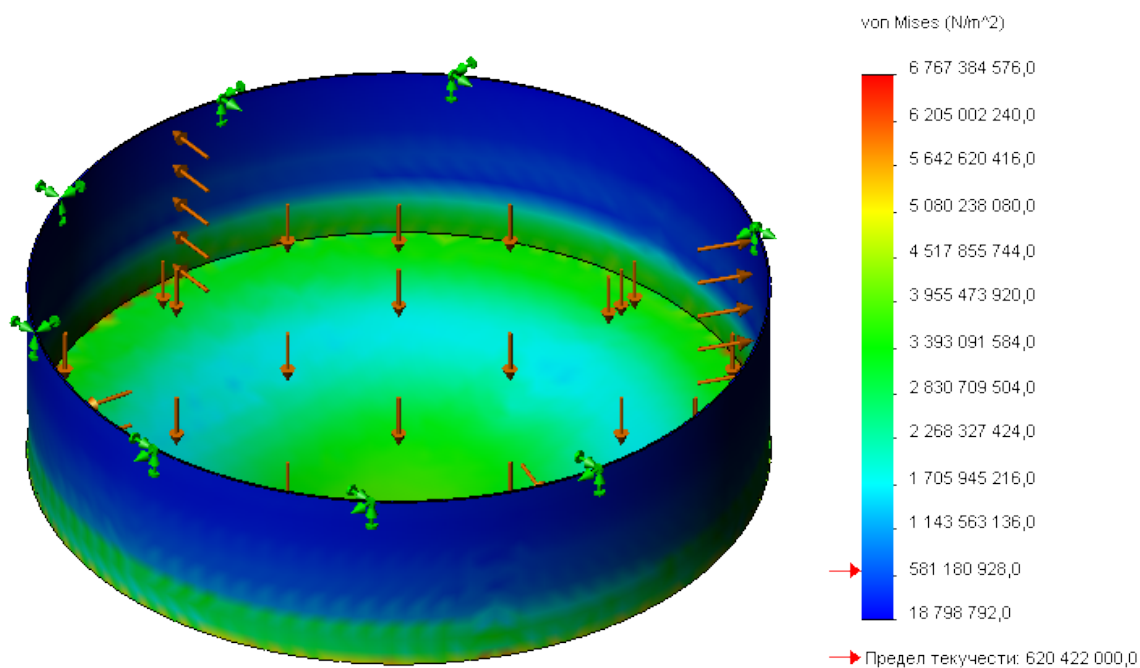


Рис. 4.6. Днище, епюра напружень

Имя модели: днище  
Имя исследования: Исследование 1  
Тип эюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 0.298207

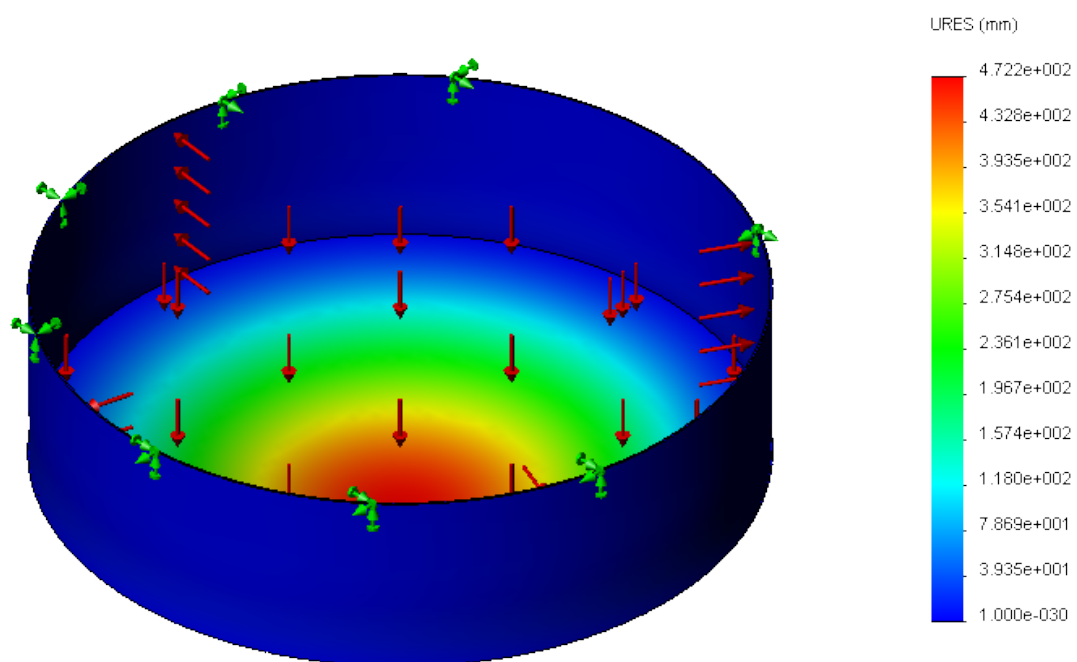


Рис. 4.7. Днище, епюра деформацій

Имя модели: крышка сборки  
Имя исследования: Исследование 1  
Тип эюры: Статический узловое напряжение Напряжение1  
Шкала деформации: 0.627293

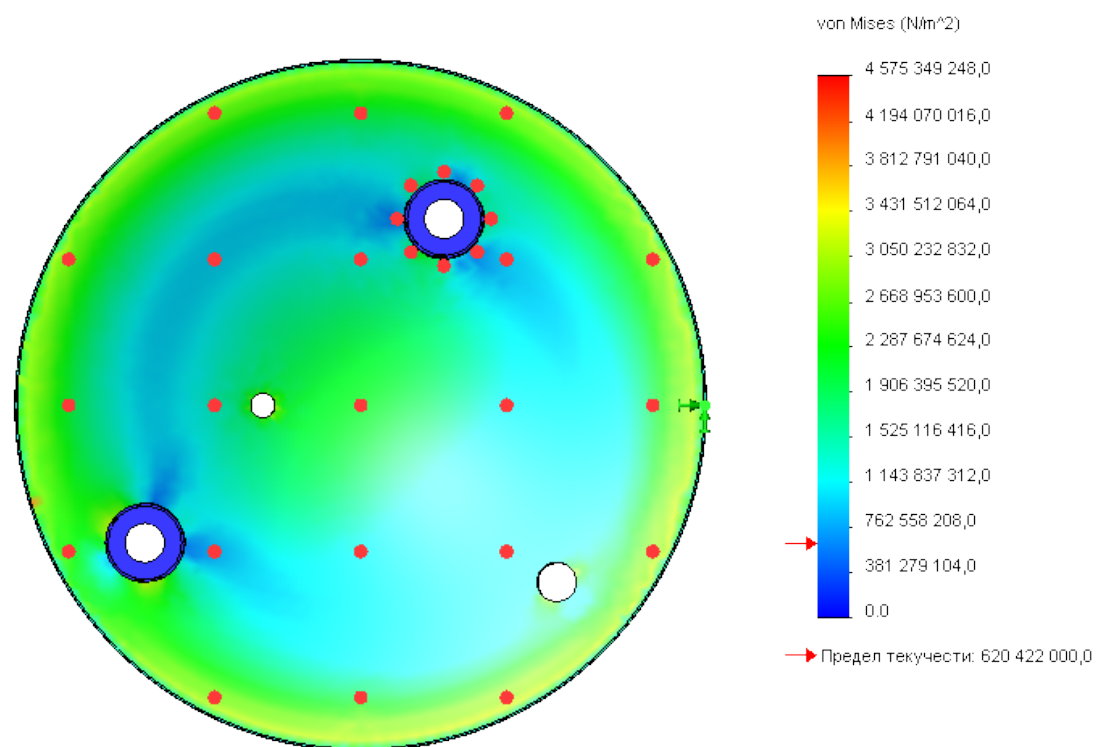


Рис. 4.8. Крышка, епюра напружень

Имя модели: крышка сборки  
 Имя исследования: Исследование 1  
 Тип эюры: Статическое перемещение Перемещение1  
 Шкала деформации: 0.627293

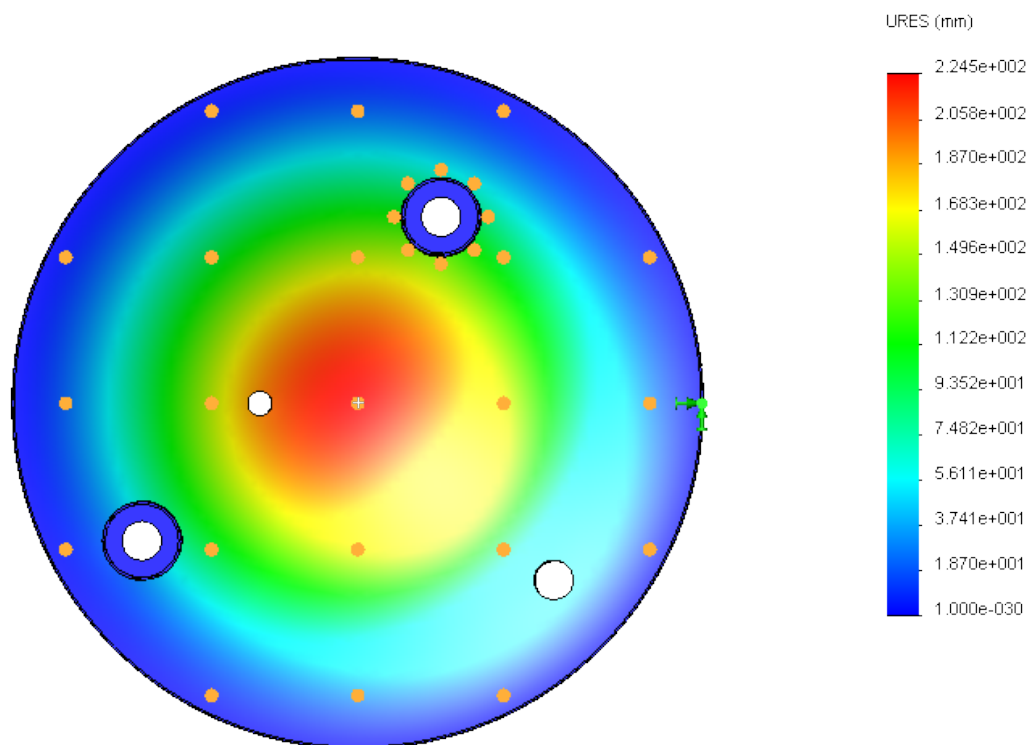


Рис. 4.9. Кришка, епюра деформацій

#### 4.3. Аналіз результатів моделювання

На рисунку 4.6 представлена епюра напружень днища. Максимальне напруження досягається в червоних зонах і становить 6767 МПа. Мінімальне напруження досягається у синіх зонах і становить 18 МПа.

На рисунку 4.7 представлена епюра деформацій днища. Максимальне напруження досягається в червоних зонах і становить 472 мм. Мінімальна деформація досягається у синіх зонах і становить  $1 \cdot 10^{-3}$ .

На рисунку 4.8 представлена епюра напружень кришки. Максимальне напруження досягається в червоних зонах і становить 4575 МПа. Мінімальне напруження досягається у синіх зонах і становить 381 МПа.

На рисунку 4.9 представлена епюра деформацій кришки. Максимальне напруження досягається в червоних зонах і становить 224 мм. Мінімальна деформація досягається у синіх зонах і становить  $1 \cdot 10^{-3}$ .

#### 4.4. Висновки

1. Побудовано 3D-модель акустичного екстрактора.
2. Побудовано 3D-моделі кришки, днища, корзини, виносного теплообмінного елементу.
3. Проведено дослідження кришки та днища.
4. Дослідження показали, що елементи витримують задане навантаження.
5. Деформації конструктивних елементів знаходяться в допустимих діапазонах.



## 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

### 5.1. Опис технологічного процесу

Апаратурно-технологічна схема виробництва соєвої олії представлена на рисунку 4.1 [55].

Соеві боби зі складу поступають на ваговий дозатор Д-1, а далі на тимчасове зберігання в брут Бр-2. Сировина може містити велику кількість домішок, тому перед переробкою її очищають ситовому сепараторі Сп-3, а також на магнітному уловлювачі У-4. Домішки рослинного походження, відокремлені на сепараторі, збирають і використовують в комбікормовому виробництві.

Очищену від домішок сировину зважують на ваговому дозаторі Д-5 і подають в бункер Бн-6, звідки вони транспортуються в шахтну сушарку Сш-7, що складається з декількох зон. Спочатку сировину сушать, а потім охолоджують. У процесі теплової обробки її вологість зменшується з 9-15% до 2-7%. Температура сировини під час сушіння близько 50 °С, після охолодження 35 °С. Висушена сировина проходить контроль на вагах Д-9, а потім направляється в проміжний бункер Бн-9 для подальшої переробки.

Подальша переробка сировини полягає в максимальному відділенні оболонки від ядра. Цей процес передбачає дві самостійні операції: лущення (обрушення) насіння і власне відділення оболонки від ядра (відвіювання, сепарування). Сировина лущиться на дисковому млині Мл-10, куди вони надходять з проміжного бункера Бн-9. Рушанка, що отримується з насіння після млина, являє собою суміш, що складається з частинок, різних за масою, формою і розмірами. У рушанки присутні цілі ядра, їх осколки, ряд різноманітних за розміром і формою частинок оболонки. Тому для відділення оболонки від ядра в основному застосовують аспіраційні віялки – повітряно-ситові сепаратори. З такого сепаратора Сп-11 сировина подається в проміжний бункер Бн-12. [55]

Після зважування на вагах Д-13 очищені соєві боби подрібнюються на п'ятывальцову дробарку Вл-14. Процес подрібнення може здійснюватися за один раз або за два рази - попередньо і остаточно. При подрібненні відбувається

руйнування клітинної структури бобів сої, що необхідно для створення оптимальних умов для найбільш повного і швидкого вилучення олії при подальшому пресуванні та екстрагування. [55]

Продукт подрібнення – мезга – з Вл-14 надходить в жаровню Ж-15, в якій за рахунок волого-теплової обробки досягається оптимальна пластичність продукту і створюються умови для полегшення віджиму олії на пресах. При смаженні вологість мезги знижується до 5-7%, а температура підвищується до 105- 115 °С.

З шнекового преса Шн-16, в який після жаровні Ж-15 подається мезга, виходять два продукти: олія, що містить значну кількість домішок і тому очищається в фільтр-пресі Ф-17, і жмих, що містить 6,0-6,5% олії, яку необхідно видалити. Тому в подальшому жмих піддається подрібненню в молотковій дробарці Д-19 і на п'ятивальцовій дробарці Вл-20, а продукт подрібнення – екстрагуванню в акустичному екстракторі Ек-21. [55]

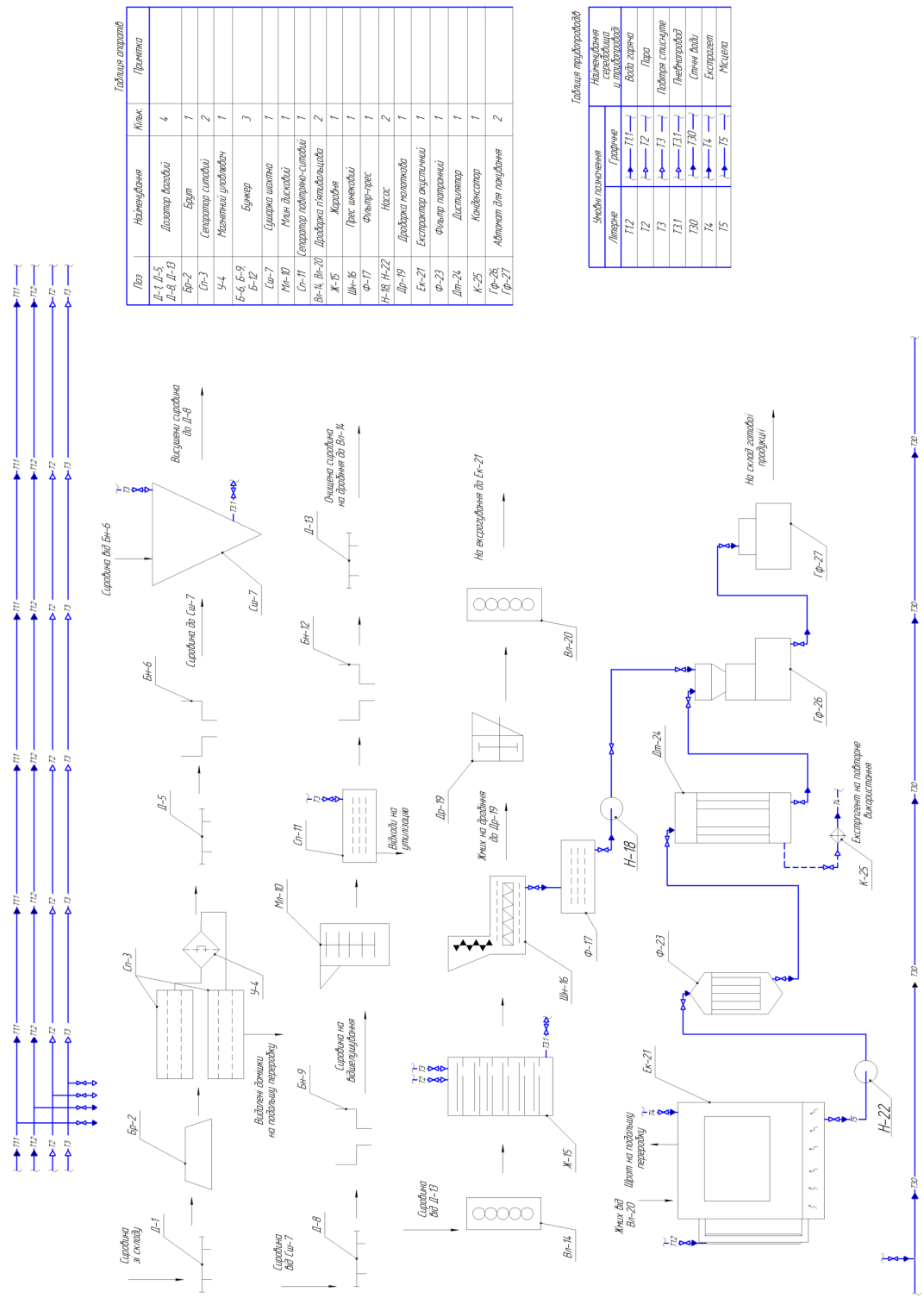
Всередині апарату розміщена корзина зі жмихом. В апарат подається екстрагент – метиленхлорид – який циркулює через апарат і виносний теплообмінний пристрій.

За допомогою дифузії масло видаляється зі зруйнованих клітин жмиху, розчиняючись в метиленхлориді. Суміш олії та екстрагенту – місцела – та деяка кількість жмиху з акустичного екстрактора Ек-21 направляється у патронний фільтр Ф-22. [55]

Знежирений продукт, що видаляється з корзини акустичного екстрактора Ек-21– шрот – направляється на подальшу переробку, що передбачає вилучення з нього залишків екстрагенту та спрямування на комбікормові заводи.

Очищена від твердих частинок місцела подається на дистиляцію у Дт-24, де вона нагрівається до 105-115 °С, і з неї при атмосферному тиску відганяються пари метиленхлориду. Парі метиленхлориду конденсуються в конденсаторі К-25 та поступають на повторне використання.

Очищена від екстрагенту олія та олія, отримана пресуванням з фільтра Ф-17 подається насосом Н-18 на автомати пакувальні Гф-26 та Гф-27, і далі на склад готової продукції. [55]



Таблиця апаратури

Поз.	Найменування	Клас	Примітка
Д-1, Д-2, Д-3, Д-4, Д-5, Д-6, Д-7, Д-8, Д-9, Д-10, Д-11, Д-12, Д-13, Д-14, Д-15, Д-16, Д-17, Д-18, Д-19, Д-20, Д-21, Д-22, Д-23, Д-24, Д-25, Д-26, Д-27, Д-28, Д-29, Д-30, Д-31, Д-32, Д-33, Д-34, Д-35, Д-36, Д-37, Д-38, Д-39, Д-40, Д-41, Д-42, Д-43, Д-44, Д-45, Д-46, Д-47, Д-48, Д-49, Д-50, Д-51, Д-52, Д-53, Д-54, Д-55, Д-56, Д-57, Д-58, Д-59, Д-60, Д-61, Д-62, Д-63, Д-64, Д-65, Д-66, Д-67, Д-68, Д-69, Д-70, Д-71, Д-72, Д-73, Д-74, Д-75, Д-76, Д-77, Д-78, Д-79, Д-80, Д-81, Д-82, Д-83, Д-84, Д-85, Д-86, Д-87, Д-88, Д-89, Д-90, Д-91, Д-92, Д-93, Д-94, Д-95, Д-96, Д-97, Д-98, Д-99, Д-100	Висхідна	4	
Бр-2	Бур	1	
Гр-3	Сепаратор олійний	2	
У-4	Мішени уловач	1	
Б-6, Б-9, Б-12	Бункер	3	
М-7	Смисна шпальта	1	
М-10	Мішні джерел	1	
Гр-11	Сепаратор пакувальний-сепаратор	1	
Др-19	Дробарка пелетизувальна	2	
Ж-5	Жарочна	1	
Ш-16	Прес шнековий	1	
Ф-17	Фільтр-прес	1	
Н-18, Н-22	Насос	2	
Др-19	Дробарка меласова	1	
Ек-21	Екстрактор олійний	1	
Ф-23	Фільтр пакувальний	1	
Дит-24	Диспенсер	1	
К-25	Конденсатор	1	
Гр-26, Гр-27	Автомат для пакування	2	

Таблиця трубопроводів

Найменування трубопроводу	Укази позначення	Граничне
Лінійні	Т12	Т11
Т2	Т2	Т2
Т3	Т3	Т3
Т3.1	Т3.1	Т3.1
Т3.0	Т3.0	Т3.0
Т4	Т4	Т4
Т5	Т5	Т5

Рис. 5.1. Апаратурно-технологічна схема виробництва соєвої олії

## 5.2. Призначення та область застосування екстрактора

Акустичний екстрактор призначений для екстрагування олії з подрібненої сировини рослинного або тваринного походження і може використовуватися в фармацевтичній, біотехнологічній, хімічній і харчовій промисловості.

Екстракція з твердих тіл є одним з основних технологічних процесів при виробництві лікарських засобів з рослинної сировини, олії з насіння соняшнику, бавовнику, сої, ефірної олії, при одержанні ферментів з культур плісневих грибів. Переробка сировини рослинного походження має певні особливості пов'язані з капілярно-пористою структурою, сформованою клітинами різної будови, у яких міститься цільовий компонент. Частинки рослинної сировини, з яких екстрагують цільовий компонент, умовно зараховують до твердих тіл. Залежно від стану сировини (суха, волога) екстрагування поділяють на різну кількість послідовних стадій. Для екстрагування висушеної сировини існують такі стадії [мой патент]:

- проникнення розчинника в пори частинок сировини;
- розчинення цільового компонента;
- перенесення екстрагованої речовини з поверхні частинок сировини в масу екстрагенту.

Конструкція акустичного екстрактора забезпечує циркуляційний рух рідини через шар твердої фази в умовах акустичної дії, що створює умови для інтенсифікації процесів масопереносу всередині твердих частинок сировини і від поверхні твердих часточок до екстрагенту, а також більш повне вилучення олії з сировини.

## 5.3 Обґрунтування вибору конструкції екстрактора

### 5.3.1 Опис конструкції екстрактора

Вибір конструкції апарату здійснено виходячи з технологічної операції, що проводять в даному апараті, а саме процес екстрагування, який належить до масообмінних процесів, в яких масопередача відбувається в системах тверде тіло-рідина. [50]

В акустичному екстракторі рослинна сировина у вигляді дрібних частинок завантажена у циліндричний корпус 1, до якого кріпиться на фланцях днище 2 та кришка 3. В корпусі 1 на опорній підставці 4 встановлений контейнер 5, який виготовлено з нижнього та верхнього кілець 6 і 7 і сітки 8. В нижній частині корпусу закріплений генератор 9 ультразвукових коливань. Зовні корпусу 1 закріплена циркуляційна труба 10 з сорочкою 11, в який через штуцери 12 підводиться і 13 відводиться теплоносій. Екстрагент в корпус екстрактора підводиться через штуцер 14, а відводиться через штуцер 15.

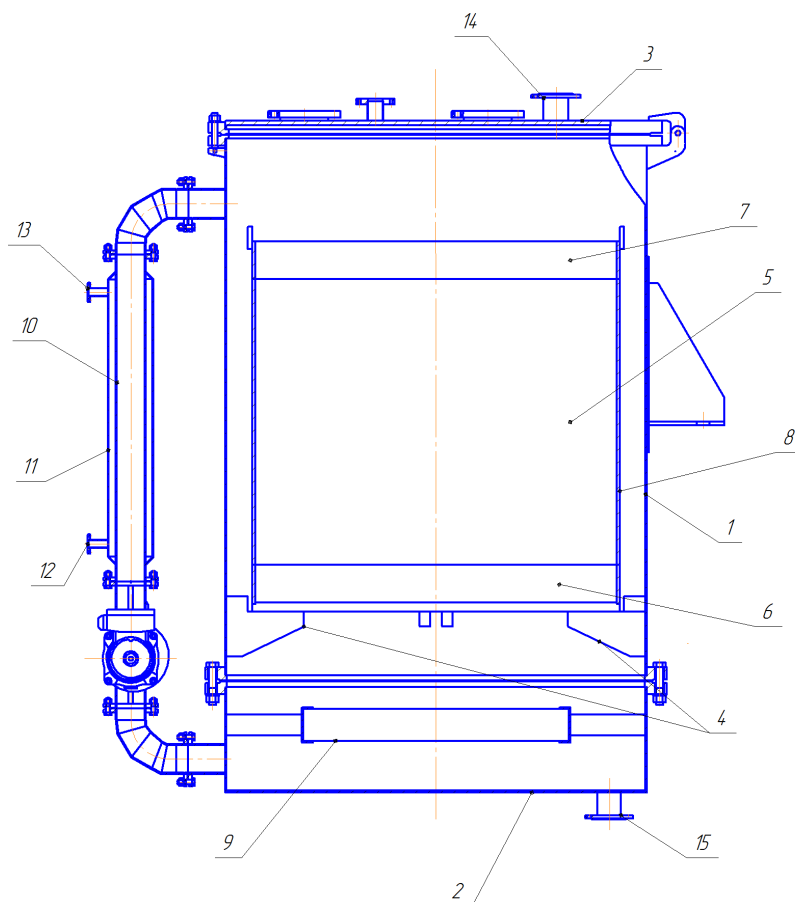


Рис. 5.2. Акустичний екстрактор:

- 1–корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – опорні підставки; 5 – контейнер;  
 6, 7 – нижнє та верхнє кільця; 8 – сітка; 9 – генератор ультразвукових коливань;  
 10 – циркуляційна труба; 11 – сорочка; 12, 13 – штуцери для підводу та  
 відведення теплоносія; 14, 15 – штуцери для підводу та відведення теплоносія

Акустичний екстрактор працює наступним чином. Перед кожним циклом роботи акустичний екстрактор очищують від залишків сировини, промивають миючими засобами, ополіскують водою, при необхідності пропарюють гострою парою. Завантаження контейнера 5 сировиною здійснюють поза межами акустичного екстрактора та фіксують в робочому положенні. Закріплюють кришку 3 до корпусу 1 апарата. В апарат подають екстрагент через штуцер 15. Вмикають генератор ультразвукових коливань і насос на циркуляційній трубі.

Екстрагент проходить через шар твердих частинок в контейнері 5 і надходить до циркуляційної труби 12, де охолоджується до робочої температури теплоносієм, який подається в кожух 12 через штуцер 13 і виходить через штуцер 14.

Вимушений циркуляційний рух екстрагенту інтенсифікує процес масовіддачі від поверхні твердих частинок.

Під дією акустичних коливань відбувається кавітаційне руйнування твердих частинок, з'являються мікротріщини, додаткові пори, що інтенсифікує процеси переносу цільового продукту всередині твердих частинок. [50]

### 5.3.2 Вибір матеріалів для виготовлення

Матеріал повинен бути обраний з врахуванням процесу і умов роботи апарату, а також згідно вимог НВП.

Згідно вимог НВП в фармацевтичній галузі може бути використано два матеріали, які безпосередньо контактують з середовищем (продуктом), це скло та нержавіюча сталь.

Приймаючи до уваги інші умови проведення процесу такі як: галузь застосування, температура та агресивність середовища можна зробити висновок, що конструктивний матеріал повинен мати високу корозійну стійкість для забезпечення необхідної довговічності та для запобігання забруднення продукту. Також матеріал апарату повинен бути хімічно інертним – не вступати в хімічну реакцію з середовищем.

Фланці апарату, кришку, обичайку, днище, шток з корзинами потрібно виконати з аустенітної корозійностійкої та хімічно стійкої сталі 12X18H10T ГОСТ 5632-72. [56]

Кріпильні елементи (болти, шайби, гайки), так як вони безпосередньо не контактують з середовищем, можна виконати з більш дешевої і розповсюдженої сталі марки 35X ГОСТ 1050-88. [57]

Матеріал прокладок для герметизації фланцевих з'єднань – фторопласт-4 ГОСТ 10007-80. [58]

#### 5.4. Технічна характеристика

Апарат призначений для екстракції біологічно активних речовин.

Таблиця 5.1. Технічна характеристика апарату

№ з/п	Характеристика	Значення
1	Номінальний об'єм апарату, м <sup>3</sup>	4
2	Площа поверхні теплообміну в сорочці, м <sup>2</sup>	0,3
3	Робочий тиску, МПа	0,2
4	Температура середовища, °С	робоча – 25°С
		максимальна – 30°С
5	Середовище в апараті	не агресивне токсичне вибухонебезпечне
6	Маса апарату, кг	1000
7	Габаритні розміри, мм	довжина – 1850
		ширина – 2150
		висота – 2400

## 5.5. Конструктивний розрахунок

### 5.5.1. Тепловий розрахунок

Мета теплового розрахунку:

1. Визначення теплового навантаження теплообмінного пристрою.
2. Визначення кінцевої температури екстрагенту в процесу роботи ультразвукового генератора.

#### 5.5.1.1. Розрахунок поверхні теплообміну теплообмінного пристрою.

Вихідні дані:

- Теплове навантаження теплообмінного пристрою  $N_m = 30000 \text{ Вт}$ ;
- Внутрішній діаметр циркуляційної труби  $d_{ц\text{ вн}} = 0,1 \text{ м}$ ;
- Зовнішній діаметр циркуляційної труби  $d_{ц\text{ зовн}} = 0,108 \text{ м}$ ;
- Внутрішній діаметр кожухової труби  $d_{с\text{ вн}} = 0,15 \text{ м}$ ;
- Швидкість руху міцели в циркуляційній трубі  $W = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;
- Початкова температура міцели  $t_{мн} = 20^\circ\text{C}$ ;
- Кінцева температура міцели  $t_{мк} = 25^\circ\text{C}$ ;
- Початкова температура теплоносія  $t_{тн} = 8^\circ\text{C}$ ;
- Кінцева температура теплоносія  $t_{тк} = 10^\circ\text{C}$ ;
- Об'єм екстрагенту  $V_{екс} = 1,5 \text{ м}^3$ ;
- Маса олії, що вилучається в процесі екстракції  $m_{ол} = 50 \text{ кг}$ ;
- Маса сировини  $m_c = 1000 \text{ кг}$ ;
- Маса екстрагенту  $m_{екс} = 3000 \text{ кг}$ ;
- Маса апарату  $m_{ан} = 800 \text{ кг}$ ;
- Питома теплоємність сировини  $c_c = 1800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ ;
- Питома теплоємність екстрагенту  $c_{екс} = 1206 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ ;
- Питома теплоємність апарату  $c_{ан} = 500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ ;



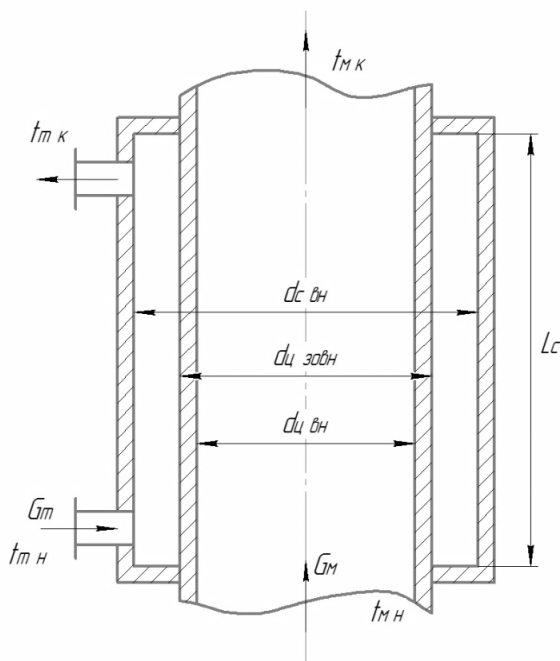


Рис. 5.3. Розрахункова схема виносного теплообмінного пристрою  
Визначаємо середню температуру теплоносія:

$$t_{m\text{cp}} = \frac{t_{mн} + t_{mк}}{2} = \frac{8 + 10}{2} = 9^{\circ}\text{C}. \quad (5.1)$$

В якості теплоносія обираємо воду. Фізичні властивості води при середній температурі вносимо в таблицю 5.2 [59]:

Таблиця 5.2. Фізичні властивості води

№ з/п	Властивість	Одиниці виміру	Позначення	Значення
1	Густина	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_m$	1000
2	Питома теплоємність	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$c_m$	4100
3	Коефіцієнт кінетичної в'язкості	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$\nu_m$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
4	Коефіцієнт теплопровідності	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\lambda_m$	0,58
5	Коефіцієнт температуропровідності	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$a_m$	$1,4 \cdot 10^{-7}$

Еквівалентний діаметр для кільцевого каналу:

$$d_{екв} = d_{с\ вн} - d_{ц\ зовн} = 0,15 - 0,108 = 0,042\ м. \quad (5.2)$$

Визначаємо швидкість теплоносія, що забезпечує турбулентний рух в кільцевому каналі з співвідношення:

$$W_m > \frac{10000 \cdot \nu_m}{d_{екв}} = \frac{10000 \cdot 1,3 \cdot 10^{-6}}{0,042} = 0,309 \frac{м}{с}. \quad (5.3)$$

Приймаємо швидкість теплоносія  $W_m = 0,4 \frac{м}{с}$ , тоді об'ємні витрати теплоносія:

$$V_m = \pi \cdot \frac{(d_{с\ вн}^2 - d_{ц\ зовн}^2) \cdot W_m}{4} = 3,4 \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{с}. \quad (5.4)$$

Розраховуємо критерій Рейнольдса і критерій Прандтля для теплоносія [59]:

$$Re = \frac{W_m \cdot d_{екв}}{\nu_m} = \frac{0,4 \cdot 0,042}{1,3 \cdot 10^{-6}} = 1,29 \cdot 10^4; \quad (5.5)$$

$$Pr_m = \frac{\mu_m \cdot c_m}{\lambda_m} = \frac{1306 \cdot 10^{-6} \cdot 4100}{0,58} = 9,23. \quad (5.6)$$

Добуток критеріїв Рейнольдса і Прандтля [59]:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} = 0,021 \cdot (1,29 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 9,23^{0,43} = 106. \quad (5.7)$$

Коефіцієнт тепловіддачі до теплоносія визначаємо за формулою:

$$\alpha_m = \frac{Nu_m \cdot \lambda_m}{d_{екв}} = \frac{106 \cdot 0,58}{0,042} = 1463 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}. \quad (5.8)$$

#### 5.5.1.2. Визначення фізичних властивостей метиленхлориду, соєвої олії і місцели.

Для визначення фізичних властивостей місцели необхідно визначити фізичні властивості екстрагенту (метиленхлориду) та олії.

Фізичні властивості метиленхлориду розраховуємо при температурі  $t = 20^\circ C$ .

Густина метиленхлориду [60]:

$$\rho_{екс} = 1325 \frac{кг}{м^3}.$$

Питома теплоємність метиленхлориду складає:

$$\begin{aligned} t = 0^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{екс}} &= 1213 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \\ t = 20^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{екс}} &= 1206 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \end{aligned} \quad [60]$$

Коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda_{\text{екс}} = 0,1523 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості (в *сПз*) можна визначити за формулою наведеною [59]:

$$\lg \mu_{\text{екс}} = VISB \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{VISTO} \right) = 319,83 \cdot \left( \frac{1}{293} - \frac{1}{171,75} \right) = -0,7706; \quad (5.9)$$

$$\mu_{\text{екс}} = 10^{-0,7706} = 0,17 \text{ сПз} = 0,17 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (5.10)$$

Діелектрична провідність складає:

$$\begin{aligned} \text{при } t = 20^{\circ}\text{C} \quad D_{\text{екс}} &= 9,08 \frac{\Phi}{\text{м}} \\ \text{при } t = 25^{\circ}\text{C} \quad D_{\text{екс}} &= 8,93 \frac{\Phi}{\text{м}} \end{aligned} \quad [60]$$

Фізичні властивості соєвої олії.

Густина соєвої олії можна визначити за формулою:

$$\rho_{\text{ол}} = -0,8433 \cdot t + 944,32 = -0,8433 \cdot 20 + 944,32 = 920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (5.11)$$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості визначається за формулою [61]:

$$\nu_{\text{ол}} = \frac{\mu_{\text{ол}}}{\rho_{\text{ол}}} = \frac{0,056}{927} = 60 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}. \quad (5.12)$$

Коефіцієнт теплопровідності при температурі  $t = 20^{\circ}\text{C}$ :

$$\lambda_{\text{ол}} = 0,175 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Питома теплоємність при температурі  $t = 20^{\circ}\text{C}$  [60]:

$$c_{\text{ол}} = 1813 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

В таблиці 4.3 наведені властивості екстрагента (метиленхлорида) і олії при температурі  $t = 20^{\circ}\text{C}$ .

Температура місцели:

$$t_m = \frac{t_{mh} + t_{mk}}{2} = \frac{20 + 25}{2} = 22,5^\circ\text{C}. \quad (5.13)$$

Коефіцієнт температуропровідності:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \frac{m^2}{c}. \quad (5.14)$$

Таблиця 5.3. Фізичні властивості метиленхлориду та соєвої олії

№ з/п	Властивість	Одиниці виміру	Метиленхлорид		Олія	
			Позначення	Значення	Позначення	Значення
1	Густина	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{екс}$	1325	$\rho_{ол}$	927
2	Питома теплоємність	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$c_{екс}$	1206	$c_{ол}$	1813
3	Коефіцієнт кінематичної в'язкості	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$\nu_{екс}$	$0,128 \cdot 10^{-6}$	$\nu_{ол}$	$60 \cdot 10^{-6}$
4	Коефіцієнт динамічної в'язкості	$\text{Па} \cdot \text{с}$	$\mu_{екс}$	$0,17 \cdot 10^{-3}$	$\mu_{ол}$	0,056
5	Коефіцієнт тепло-провідності	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\lambda_{екс}$	0,1523	$\lambda_{ол}$	0,175
6	Коефіцієнт температуро-провідності	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$a_{екс}$	$9,5 \cdot 10^{-8}$	$a_{ол}$	$10,4 \cdot 10^{-8}$

Значення фізичних властивостей місцели знаходимо за наступними формулами і заносимо в таблицю 5.4.

Концентрація олії в місцелі  $a_m = 0,25$ . Тоді мольна частка олії в місцелі [59]:

$$x_m = \frac{\frac{a_m}{M_m}}{\frac{a_m}{M_m} + \left( \frac{1-a_m}{M_{екс}} \right)} = \frac{\frac{0,25}{280}}{\frac{0,25}{280} + \frac{1-0,25}{85}} = 0,092, \quad (5.15)$$

де  $M_{екс} = 85 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$  – мольна маса екстрагента [59];

$M_{\text{м}} = 280 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$  – мольна маса соєвої олії [59].

Густина міцели [59]:

$$\rho_{\text{м}} = \rho_{\text{екс}} \cdot (1 - x_{\text{м}}) + \rho_{\text{ол}} \cdot x_{\text{м}} = 1325 \cdot 0,908 + 927 \cdot 0,092 = 1288 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (5.16)$$

$$\lg \mu_{\text{м}} = x_{\text{м}} \cdot \lg \mu_{\text{ол}} + (1 - x_{\text{м}}) \cdot \lg \mu_{\text{екс}} = -3,535; \quad (5.17)$$

$$\mu_{\text{м}} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

$$c_{\text{м}} = a_{\text{м}} \cdot c_{\text{ол}} + (1 - a_{\text{м}}) \cdot c_{\text{екс}} = 0,25 \cdot 1813 + (1 - 0,25) \cdot 1206 = 1358 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \quad (5.18)$$

Коефіцієнт теплопровідності міцели знаходимо з рівняння [60]:

$$\frac{\lambda_{\text{м}} - \lambda_{\text{екс}}}{\lambda_{\text{ол}} - \lambda_{\text{екс}}} = a_{\text{м}}^{\frac{3}{2}}; \quad (5.19)$$

$$\lambda_{\text{м}} = \lambda_{\text{екс}} + a_{\text{м}}^{\frac{3}{2}} \cdot (\lambda_{\text{ол}} - \lambda_{\text{екс}}) = 0,1523 + 0,25^{\frac{3}{2}} \cdot (0,175 - 0,1523) = 0,155 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}. \quad (5.20)$$

$$\nu_{\text{м}} = \frac{\mu_{\text{м}}}{\rho_{\text{м}}} = \frac{2,9 \cdot 10^{-4}}{1288} = 2,25 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}. \quad [59] \quad (5.21)$$

Таблиця 5.4. Фізичні властивості міцели

№ з/п	Властивість	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1	Густина	$\rho_{\text{м}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	1288
2	Питома теплоємність	$c_{\text{м}}$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	1358
3	Коефіцієнт динамічної в'язкості	$\mu_{\text{екс}}$	$\text{Па} \cdot \text{с}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
4	Коефіцієнт кінетичної в'язкості	$\nu_{\text{м}}$	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$2,25 \cdot 10^{-7}$
5	Коефіцієнт теплопровідності	$\lambda_{\text{м}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	0,155

### 5.5.1.3. Визначення кінцевої температури екстрагенту в процесу роботи ультразвукового генератора

Швидкість місцели в циркуляційній трубі:

$$W_m = \frac{4 \cdot V_m}{\pi \cdot d_{ц\text{ вн}}^2} = 0,18 \frac{м^2}{с}. \quad (5.22)$$

Критерій Рейнольдса для місцели [58]:

$$Re_m = \frac{W_m \cdot d_{ц\text{ вн}}}{\nu_m} = \frac{1,5 \cdot 0,1}{2,25 \cdot 10^{-7}} = 7 \cdot 10^4. \quad (5.23)$$

Критерій Прандтля для місцели [58]:

$$Pr_m = \frac{\mu_m \cdot c_m}{\lambda_m} = \frac{2,9 \cdot 10^{-4} \cdot 1358}{0,155} = 2,54. \quad (5.24)$$

Значення критерія Рейнольдса  $Re_m > 10000$  режим місцели в циркуляційній трубі турбулентний отже для розрахунку критерія Нусельта використовуємо рівняння [59]:

$$Nu_m = 0,021 \cdot Re_m^{0,8} \cdot Pr_m^{0,43} = 0,021 \cdot (7 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 2,54^{0,43} = 235,7 \quad (5.25)$$

$$\alpha_m = \frac{Nu_m \cdot \lambda_m}{d_{ц\text{ вн}}} = \frac{235,7 \cdot 0,155}{0,1} = 365,3 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}. \quad (5.26)$$

Коефіцієнт теплопередачі в виносному теплообмінному пристрої [59]:

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_m} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_m}} = \frac{1}{\frac{1}{365,3} + \frac{4 \cdot 10^{-3}}{46,5} + \frac{1}{1463}} = 289 \frac{Вт}{м \cdot К}. \quad (5.27)$$

Значення поверхні теплообміну виносного теплообмінного пристрою:

$$F = \pi \cdot d_{ц\text{ вн}} \cdot L_c = 3,14 \cdot 0,1 \cdot 1,155 = 0,49 м^2. \quad (5.28)$$

Кількість теплової енергії, що відводиться від екстрагенту в 1 часу знаходимо за формулою [59]:

$$Q_m = K_p \cdot \Delta t_{cp} \cdot F = 289 \cdot 14 \cdot 0,49 = 1982 Вт. \quad (5.29)$$

В процесі роботи ультразвукового генератора відбувається підвищення температури екстрагенту від  $t_n$  до  $t_k$  за рахунок перетворення енергії звукових хвиль в теплову енергію. Різницю температур  $\Delta t = t_k - t_n$  знаходимо за формулою:

$$\Delta t = \frac{N_z \cdot \tau_z - Q_m \cdot \tau_z}{m_c \cdot c_c + m_{ек} \cdot c_{ек} + m_{ан} \cdot c_{ан}} = \frac{(30000 - 1982) \cdot 5 \cdot 60}{1000 \cdot 1800 + 3000 \cdot 1206 + 800 \cdot 500} = 1,44^\circ C, \quad (5.30)$$

де  $\tau_g$  – час роботи генератора.

Отже, при роботі генератора протягом 30 хвили температура екстрагенту може підвищитись на 10 градусів.

#### 5.5.1.4. Визначення тривалості процесу екстракції олії з рослинної сировини

Для визначення коефіцієнту масовіддачі  $\beta$  скористуємося емпіричною формулою, що описує масообмін при русі екстрагента через шар твердих частинок сировини [53, 54]:

$$Nu_D = \frac{\beta \cdot d_{m\phi}}{D_{ek}} \quad (5.31)$$

або

$$\begin{aligned} Nu_D &= 2 + 0,57 \cdot (Ar_D \cdot Pr_D)^{0,25} + 0,35 \cdot (Re \cdot \sqrt{Pr_D})^{0,62} = \\ &= 2 + 0,57 \cdot (1,29 \cdot 10^6 \cdot 803,6)^{0,25} + 0,35 \cdot (257,78 \cdot \sqrt{803,6})^{0,62} = 114,4 \end{aligned} \quad (5.32)$$

де  $Re$  – критерій Рейнольдса;

$Nu_D$  – дифузійний критерій Нусельта;

$Ar_D$  – критерій Архімеда;

$Pr_D$  – дифузійний критерій Прандтля [53, 54, 59].

$$Re = \frac{W \cdot d_{m\phi}}{\nu_{ek}} = \frac{0,02 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3}}{2,25 \cdot 10^{-7}} = 257,78 \quad (5.33)$$

$$Ar_D = \frac{g \cdot d_{m\phi}^3}{\nu_{ek}^2} \cdot \left( \frac{\rho_n - \rho_k}{\rho_{ek}} \right) = \frac{9,81 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3}}{(2,25 \cdot 10^{-7})^2} \cdot \left( \frac{1288 - 927}{1352} \right) = 1,29 \cdot 10^6 \quad (5.34)$$

$$Pr_D = \frac{\nu_{ek}}{D_{ek}} = \frac{2,25 \cdot 10^{-7}}{0,28 \cdot 10^{-3}} = 803,57 \quad (5.35)$$

де  $d_{m\phi} = 2,9 \cdot 10^{-3}$  – еквівалентний діаметр частинок сировини;

$W = 0,2 \frac{м}{с}$  – середня швидкість екстрагента через шар частинок сировини;

$\rho_n = 1288 \frac{кг}{м^3}$  – густина екстрагента в стані насичення олією;

$\rho_{ek} = 1325 \frac{кг}{м^3}$  – середня густина розчину олії в екстрагенті в процесі екстракції;

$\nu_{ек} = 2,25 \cdot 10^{-7} \frac{M^2}{c}$  – середнє значення коефіцієнту кінематичної в'язкості розчину олії в екстрагенті;

$D_{екс} = 0,28 \cdot 10^{-9}$  – коефіцієнт дифузії олії в екстрагенті.

З рівняння (5.31) знаходимо коефіцієнт масовіддачі [53, 54, 59]:

$$\beta = \frac{Nu_D \cdot D_{екс}}{d_{мс}} = \frac{114,41 \cdot 0,28 \cdot 10^9}{2,9 \cdot 10^{-3}} = 1,12 \cdot 10^{-5} \quad (5.36)$$

Коефіцієнт масопередачі при екстрагуванні олії з рослинної сировини визначається формулою [1, 53, 54, 59]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\delta}{D_c} + \frac{s}{D_m}} = \frac{1}{\frac{1}{1,12 \cdot 10^5} + \frac{0,7 \cdot 10^6}{4,5 \cdot 10^{-13}} + \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{8,58 \cdot 10^{-8}}} = 6,07 \cdot 10^{-7}, \quad (5.37)$$

де  $D_m$  – коефіцієнт молекулярної дифузії;

$D_c$  – коефіцієнт масопровідності або внутрішньої дифузії;

$s$  – товщина примежового шару;

$\delta$  – товщина клітинної оболонки сої.

Для шару твердих частинок сферичної форми площа поверхні визначається за формулою:

$$F = \frac{6 \cdot V_{мс}}{d_{мс}} = \frac{6 \cdot 1,39}{2,9 \cdot 10^{-3}}, \quad (5.38)$$

де  $V_{мс} = \frac{m_{мс}}{\rho_{мс}} = \frac{1000}{720} = 1,39 M^3$  – обєм шару твердих частинок сферичної форми.

$m_{мс}$  – маса твердих частинок, що поступають на екстракцію,

$\rho_{мс}$  – густина твердих частинок.

Тривалість процесу екстракції в акустичному екстракторі:

$$\tau_k = \frac{V_{мс}}{K \cdot F} \cdot \ln \frac{C_{мс н} - C_{мс р}}{C_{мс к} - C_{мс р}} = \frac{1,39}{6,07 \cdot 10^{-7} \cdot 2,87 \cdot 10^3} \cdot \ln \frac{(50-2)}{(5-2)} = 36,8 хв. \quad (5.39)$$



### 5.5.2. Розрахунок обичайки, навантаженої внутрішнім тиском

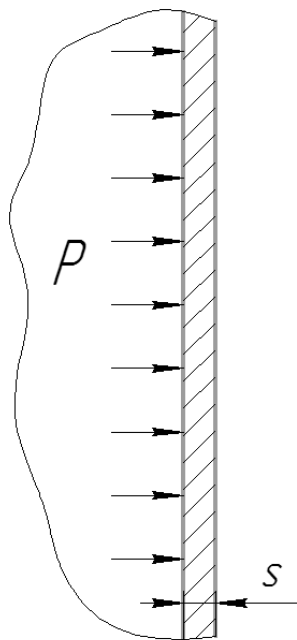


Рис. 5.4. Розрахункова схема обичайки

Розрахункова товщина стінки обичайки [62]:

$$S_R = \frac{1,1 \cdot P \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} = \frac{1,1 \cdot 0,2 \cdot 10^6 \cdot 1,4}{2 \cdot 184 \cdot 10^6} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (5.40)$$

де  $[\sigma] = 184 \text{ МПа}$  – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі стінки  $20^\circ\text{C}$  [63].

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,8 + 0,5 + 0,4 + 0 + 2,6) \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (5.41)$$

де  $c_1$  – прибавка на товщину стінки, яка враховує корозію і ерозію,

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

$c_3$  – технологічна прибавка, яка враховує стоншення листа внаслідок технологічних операцій, приймаємо  $c_3 = 0$ ;

$c_4$  – прибавка на округлення до стандартного значення.

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (5.42)$$

де  $\Pi$  – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо  $\Pi = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{рік}}$ .

Приймаємо товщину стінки  $S = 4 \text{ м}$ .

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 184 \cdot 10^6 \cdot (0,004 - 0,0032)}{1,4 + (0,004 - 0,0032)} = 0,22 \cdot 10^6 \text{ Па}. \quad (5.43)$$

Умова міцності:

$$P \leq [P]$$

$$0,2 \text{ МПа} \leq 0,22 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується. Це означає, що апарат сконструйовано і обрано вірно і немає необхідності його додатково укріплювати, адже він не зруйнується при заданих умовах технологічного процесу.

### 5.5.3. Розрахунок фланцевого з'єднання обичайки екстрактора

Фланцеве з'єднання – найбільш широко використовуваний вид роз'ємних з'єднань в хімічному машинобудуванні, що забезпечує герметичність та міцність конструкції, а також простоту виготовлення зборки та розборки [64].

Вихідні данні:

- внутрішній діаметр обичайки  $D = 1,4 \text{ м}$ ;
- товщина стінки обичайки  $s = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;
- прибавка до розрахункової товщини стінки  $c = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;
- внутрішній тиск  $P = 0,2 \text{ МПа}$ ;
- температура в апараті  $t = 30^0 \text{ C}$ ;
- матеріал фланців сталь 12Х18Н10Т;
- матеріал болтів сталь 35Х.

Зовнішня вигинаюча сила та осьовий момент відсутні.

При внутрішньому діаметрі  $D = 1,4 \text{ м}$  та внутрішньому тиску в апараті  $P = 0,2 \text{ МПа}$  обираємо плоскі приварні фланці з гладкою ущільнюючою поверхнею [64].

Проведемо конструктивний розрахунок фланця.

Висота втулки фланця:

$$h_g = 0,5 \cdot \sqrt{D \cdot (s_o - c)} = 0,5 \cdot \sqrt{1,4 \cdot (0,004 - 0,0032)} = 0,017 \text{ м}. \quad (5.44)$$

Приймаємо висоту втулки  $h_g = 0,05 \text{ м}$ .

Діаметр болтової окружності [65]:

$$D_{\bar{o}} = D + 2 \cdot (2 \cdot s_o + d_{\bar{o}} + u) = 1,4 + 2 \cdot (2 \cdot 0,004 + 0,020 + 0,004) = 1,464 \text{ м}, \quad (5.45)$$

де  $d_{\bar{o}} = 0,02 \text{ м}$  – зовнішній діаметр болта при  $D = 1,24 \text{ м}$  та  $P = 0,2 \text{ МПа}$ ;

$u = 0,004 \text{ м}$  – нормативний зазор.

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_{\bar{z}} = D_{\bar{o}} + a = 1,464 + 0,04 = 1,504 \text{ м}, \quad (5.46)$$

де  $a = 0,04 \text{ м}$  – конструктивна добавка для розміщення шестигранних гайок з діаметром болта  $d_{\bar{o}} = 0,02 \text{ м}$  по діаметру фланця.

Зовнішній діаметр прокладки для плоского фланця:

$$D_{\bar{z}.n.} = D_{\bar{o}} - e = 1,464 - 0,03 = 1,434 \text{ м}, \quad (5.47)$$

де  $e = 0,03 \text{ м}$  – нормативний параметр для плоскої прокладки.

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\bar{c}.n.} = D_{\bar{z}.n.} - b = 1,434 - 0,018 = 1,41 \text{ м}, \quad (5.48)$$

де  $b = 0,018 \text{ м}$  – ширина плоскої неметалевої прокладки для апарату з діаметром  $D \geq 1 \text{ м}$ .

Кількість болтів, що необхідна для забезпечення герметичності з'єднання [66]:

$$n_{\bar{o}} \geq \frac{\pi D_{\bar{o}}}{t_{\kappa}} = \frac{3,14 \cdot 1,464}{0,096} = 47,9, \quad (5.49)$$

де  $t_{\kappa} = 4,8 \cdot d_{\bar{o}} = 4,8 \cdot 0,02 = 0,096 \text{ м}$  – рекомендований крок розташування болтів, для апаратів, що працюють під робочим тиском в межах  $P \leq 0,3 \text{ МПа}$ .

Приймаємо кількість болтів  $n_{\bar{o}} = 48$ , що кратна чотирьом.

Висота фланця:

$$h_{\bar{\phi}} \geq \lambda_{\bar{\phi}} \sqrt{D \cdot s_{\text{ек}}} = 0,4 \sqrt{1,4 \cdot 0,004} = 0,029 \text{ м}, \quad (5.50)$$

де  $\lambda_{\bar{\phi}}$  – поправочний коефіцієнт для плоских фланців, що працюють під робочим тиском  $P = 0,2 \text{ МПа}$ ;

$s_{\text{ек}} = s_o = 0,004 \text{ м}$  – еквівалентна товщина для втулки плоских приварних фланців.

Приймаємо висоту фланця  $h_\phi = 0,03 \text{ м}$ .

Розрахункова довжина болта:

$$l_\phi = l_{\phi.o} + 0,28 \cdot d_\phi = 0,064 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,069 \text{ м}, \quad (5.51)$$

де  $l_{\phi.o} = 2 \cdot (h_\phi + h_n) = 2 \cdot (0,03 + 0,002) = 0,064 \text{ м}$  – відстань між опорними поверхнями головки болта та гайки при товщині прокладки  $h_n = 0,002 \text{ м}$ .

Рівнодіюча внутрішнього тиску [67]:

$$F_\phi = \frac{P \cdot \pi \cdot D^2}{4} = \frac{0,2 \cdot 3,14 \cdot 1,4^2}{4} = 0,3 \text{ МН}. \quad (5.52)$$

Реакція прокладки:

$$R_n = \pi \cdot D_{c.n.} \cdot b_o \cdot k_{np} \cdot P = 3,14 \cdot 1,416 \cdot 0,012 \cdot 1 \cdot 0,2 = 0,01 \text{ МН}, \quad (5.53)$$

де  $k_{np} = 1$  – коефіцієнт для резини з твердістю вище 1,2 МПа;

$b_o = b = 0,012 \text{ м}$  – ефективна ширина прокладки, так як  $b < 0,015 \text{ м}$  [67].

Зусилля, що виникає від температурних деформацій:

$$F_t = \frac{y_\phi n_\phi f_\phi E_\phi (\alpha_\phi t_\phi - \alpha_\phi t_\phi)}{y_n + y_\phi + 0,5 y_\phi (D_\phi - D_{c.n.})^2} =$$

$$= \frac{3,2 \cdot 10^{-5} \cdot 48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,95 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 28,8 - 11,2 \cdot 10^{-6} \cdot 28,5)}{1,56 \cdot 10^{-3} + 3,2 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 1,9 \cdot (1,464 - 1,504)^2} = 0,0073 \text{ МН}, \quad (5.54)$$

де  $\alpha_\phi = 16,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$  та  $\alpha_\phi = 11,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$  – відповідно коефіцієнти лінійного розширення матеріалу фланців (сталь 12Х18Н10Т) та болтів (сталь 35) [67];

$t_\phi = 0,96t = 0,96 \cdot 30 = 28,8^\circ\text{C}$  – розрахункова температура неізолюваних фланців;

$t_\phi = 0,95t = 0,95 \cdot 30 = 28,5^\circ\text{C}$  – розрахункова температура болтів;

$E_\phi = 1,95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – модуль пружності для болтів зі сталі 35Х;

$f_\phi = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – розрахункова площа поперечного перерізу болта діаметром

$d_\phi = 0,02 \text{ м}$ ;

$n_\phi = 48$  – кількість болтів;

$y_\phi, y_n, y_\phi$  – піддатливість відповідно болтів, прокладки, фланців.

$$y_\phi = \frac{l_\phi}{E_\phi f_\phi n_\phi} = \frac{0,071}{1,95 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 48} = 3,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}}. \quad (5.55)$$

$$y_n = \frac{h_n}{E_n \cdot \pi \cdot D_{c.n.} \cdot b} = \frac{0,002}{16 \cdot 3,14 \cdot 1,416 \cdot 0,018} = 1,56 \cdot 10^{-3} \frac{м}{МН}, \quad (5.56)$$

де  $E_n = 16 МПа$  – модуль пружності для прокладки із резини з твердістю вище 1,2 МПа [67].

$$y_\phi = \frac{[1 - \nu \cdot (1 + 0,9\lambda'_\phi)] \cdot \psi_2}{h_\phi^3 \cdot E} = \frac{[1 - 0,465 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,4)] \cdot 27,9}{0,03^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 1,9 \frac{1}{МН \cdot м}, \quad (5.57)$$

де

$$\lambda'_\phi = \frac{h_\phi}{\sqrt{D \cdot s_o}} = \frac{0,03}{\sqrt{1,4 \cdot 0,004}} = 0,4; \quad (5.58)$$

$$\psi_2 = \frac{D_3 + D}{D_3 - D} = \frac{1,504 + 1,4}{1,504 - 1,4} = 27,9; \quad (5.59)$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda'_\phi \cdot \left(1 + \frac{\psi_1 \cdot h_\phi^2}{s_o^2}\right)} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,4 \cdot \left(1 + \frac{0,039 \cdot 0,03^2}{0,004^2}\right)} = 0,465, \quad (5.60)$$

де

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{D_3}{D}\right) = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{1,504}{1,4}\right) = 0,039; \quad (5.61)$$

$E = 2 \cdot 10^5 МПа$  – модуль пружності для фланця зі сталі 12Х18Н10Т.

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$k_{жс} = \frac{y_{\bar{o}} + 0,5 y_\phi (D_{\bar{o}} - D - s_o)(D_{\bar{o}} - D_{c.n.})}{y_n + y_{\bar{o}} + 0,5 y_\phi (D_{\bar{o}} - D_{c.n.})^2} =$$

$$= \frac{3,2 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 1,9 \cdot (1,464 - 1,4 - 0,004) \cdot (1,464 - 1,4)}{1,56 \cdot 10^{-3} + 3,2 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 1,9 \cdot (1,464 - 1,4)^2} = 0,674. \quad (5.62)$$

Болтове навантаження в умовах монтажу до подачі внутрішнього тиску:

$$F_{\bar{o}1} = \max \left\{ \begin{aligned} k_{жс} \cdot F_{\bar{o}} + R_n &= 0,674 \cdot 0,3 + 0,01 = 0,212 МН; \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{c.n.} \cdot b_o \cdot p_{np} &= 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,416 \cdot 0,012 \cdot 3 = 0,08 МН \end{aligned} \right\} = 0,212 МН, \quad (5.63)$$

де  $p_{np} = 3 МПа$  – мінімальний тиск обхвату прокладки.

Болтове навантаження при робочих умовах:

$$F_{\bar{o}2} = F_{\bar{o}1} + (1 - k_{жс}) \cdot F_{\bar{o}} + F_t = 0,212 + (1 - 0,674) \cdot 0,3 + 0,0073 = 0,317 МПа. \quad (5.64)$$

Приведений згинаючий момент:

$$M_o = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_{\delta} - D_{c.n.}) \cdot F_{\delta 1} = 0,5 \cdot (1,464 - 1,416) \cdot 0,212 = 0,005 \text{ МН} \cdot \text{м}; \\ 0,5 \cdot [(D_{\delta} - D_{c.n.}) \cdot F_{\delta 2} + (D_{c.n.} - D - s_o) \cdot F_o] \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = \\ = 0,5 \cdot [(1,464 - 1,416) \cdot 0,317 + (1,416 - 1,4 - 0,004) \cdot 0,3] \cdot \frac{160}{154} = \\ = 0,0097 \text{ МН} \cdot \text{м} \end{array} \right\} = 0,0097 \text{ МН} \cdot \text{м}, \quad (5.65)$$

де  $[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа}$  та  $[\sigma] = 154 \text{ МПа}$  – відповідно допустиме напруження для матеріалу фланця при  $20^\circ \text{C}$  та при розрахунковій температурі  $t = 80^\circ \text{C}$  [67].

Проведемо перевірку міцності та герметичності з'єднання [67]. Умова міцності болтів виконується:

$$\frac{F_{\delta 1}}{n_{\delta} \cdot f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta 20}, \quad \frac{0,212}{48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 19 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}, \quad (5.66)$$

$$\frac{F_{\delta 2}}{n_{\delta} \cdot f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta}, \quad \frac{0,317}{48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 28 \text{ МПа} < 127 \text{ МПа}, \quad (5.67)$$

де  $[\sigma]_{\delta 20} = 130 \text{ МПа}$ ,  $[\sigma]_{\delta} = 127 \text{ МПа}$  – допустиме напруження для сталевих болтів при  $20^\circ \text{C}$ .

Умова міцності неметалевої прокладки з резини виконується:

$$\frac{F_{\delta \max}}{\pi D_{c.n.} \cdot b} < [p_{np}], \quad \frac{0,317}{3,14 \cdot 1,416 \cdot 0,012} = 6 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа}, \quad (5.68)$$

де  $[p_{np}] = 20 \text{ МПа}$  – допустимий тиск обхвату прокладки з резини твердістю від  $1,2 \text{ МПа}$ .

$$F_{\delta \max} = \max \{F_{\delta 1}; F_{\delta 2}\} = \max \{0,212 \text{ МПа}; 0,317 \text{ МПа}\} = 0,317 \text{ МПа}, \quad (5.69)$$

де  $s_1 = s_o$ , так як у плоского приварного фланця втулка циліндрична;

$$f_{\phi} = 1, \text{ так як } \frac{s_1}{s_o} = 1.$$

$$T_{\phi} = \frac{D_3^2 \cdot \left[ 1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_3}{D} \right] - D^2}{(1,05 \cdot D^2 + 1,945 \cdot D_3^2) \cdot \left( \frac{D_3}{D} - 1 \right)} = \frac{1,504^2 \cdot \left[ 1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,504}{1,4} \right] - 1,4^2}{(1,05 \cdot 1,4^2 + 1,945 \cdot 1,404^2) \cdot \left( \frac{1,304}{1,2} - 1 \right)} = 0,38. \quad (5.70)$$

Напруження на втулці від внутрішнього тиску:

– тангенційне:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (s_o - c)} = \frac{0,2 \cdot 1,4}{2 \cdot (0,004 - 0,0032)} = 175 \text{ МПа}; \quad (5.71)$$

– радіальне:

$$\sigma_m = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (s_o - c)} = \frac{0,2 \cdot 1,4}{4 \cdot (0,004 - 0,0032)} = 87,5 \text{ МПа}. \quad (5.72)$$

Умова міцності для перерізу, що обмежений розміром  $s = 0,004 \text{ м}$ , виконується:

$$\sqrt{(\sigma_o + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_o + \sigma_m) \cdot \sigma_t} < \phi \cdot [\sigma]_o, \quad (5.73)$$

$$\sqrt{(372 + 87,5)^2 + 175^2 - (372 + 87,5) \cdot 175} = 401 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 600 = 540 \text{ МПа},$$

де  $[\sigma]_o = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа}$  – допустиме напруження у фланці.

Кільцеве напруження у кільці фланця:

$$\sigma_\kappa = \frac{M_o \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda'_\phi)] \cdot \psi_2}{D \cdot h_\phi^2} = \frac{0,0097 \cdot [1 - 0,465 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,4)] \cdot 27,9}{1,4 \cdot 0,03^2} = 65,02 \text{ МПа} \quad (5.74)$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання виконується:

$$\theta = \frac{\sigma_\kappa}{E} \cdot \frac{D}{h_\phi} < [\theta]; \quad (5.75)$$

$$\theta = \frac{64}{2 \cdot 10^5} \cdot \frac{1,4}{0,03} = 0,0051 \text{ рад} < 0,013 \text{ рад},$$

де  $\theta$  – кут повороту фланця;

$[\theta]$  – допустимий кут повороту плоского фланця.

#### 5.5.4. Перевірка несучої спроможності апарату на дію опорних навантажень

Метою розрахунку є вибір типу опор та перевірка несучої спроможності апарату на дію опорних навантажень.

Так як рівномірний розподіл усіх навантажень поміж опор забезпечується, то формула для визначення зусилля, що діє на одну опору матиме вигляд:

$$F = \frac{G}{3} = \frac{9810}{3} = 3270 \text{ Н}, \quad (5.76)$$

де  $G = 9810 \text{ Н}$  – вага апарату.

Обираємо опорні лапи типу І та конструкцію опор типу А [68] (рис. 4.6).

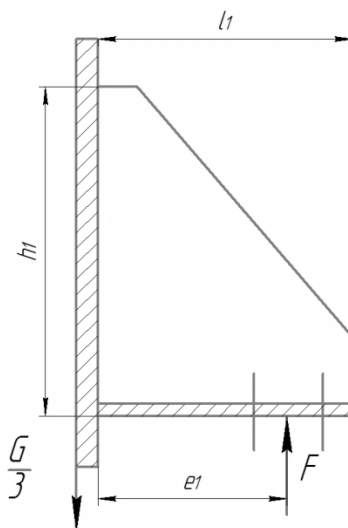


Рисунок 5.5. Розрахункова схема несучої спроможності опори

Допустиме значення зусилля, що діє на одну опору:

$$[F] = \frac{[\sigma_i] \cdot h_1 \cdot (S - c)^2}{K_T \cdot e_1} = \frac{177 \cdot 0,45 \cdot (0,004 - 0,0032)^2}{0,45 \cdot 0,2} = 59,7 \text{ кН}, \quad (5.77)$$

де  $[\sigma_i]$  – граничне напруження вигину;

$h_1$  – висота опори;

коефіцієнт  $K_T = 0,45$  [48];

$$e_1 = \frac{5}{6} \cdot l_1 = \frac{5}{6} \cdot 0,25 = 0,2. \quad (5.78)$$

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 0,972 \cdot 153 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 177 \text{ МПа}, \quad (5.79)$$

де  $K_2 = 1,2$  для робочих умов;

$$K_1 = \left( \frac{1 + 3 \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}{3 \cdot \nu_1^2} \right) \cdot \left( \sqrt{\frac{9 \cdot \nu_1^2 \cdot (1 - \nu_2^2)}{(1 + 3 \cdot \nu_1 \cdot \nu_2)^2} + 1} - 1 \right) = \left( \frac{1 + 3 \cdot 0,3 \cdot 0,34}{3 \cdot 0,3^2} \right) \times \left( \sqrt{\frac{9 \cdot 0,3^2 \cdot (1 - 0,34^2)}{(1 + 3 \cdot 0,3 \cdot 0,34)^2} + 1} - 1 \right) = 0,927, \quad (5.80)$$

де  $\nu_1 = 0,3$  коефіцієнт, що являє собою відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину;



$\nu_2$  – коефіцієнт, що враховує ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями:

$$\nu_2 = \frac{K_T \cdot \sigma_m}{n_T \cdot [\sigma] \cdot \phi} = \frac{0,45 \cdot 175}{1,5 \cdot 153 \cdot 1} = 0,34; \quad (5.81)$$

де  $\sigma_m$  – загальне мембранне напруження;

$[\sigma] = 153 \text{ МПа}$  – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т [68];

$$\sigma_m = \frac{P \cdot D_R}{2 \cdot (S - c)} = \frac{0,2 \cdot 1,4}{2 \cdot (0,004 - 0,0032)} = 175 \text{ МПа}. \quad (5.82)$$

Умова несучої спроможності:

$$F < [F]$$

$$3270 \text{ Н} < 59700 \text{ Н}.$$

Умова несучої спроможності виконується.

## 5.5. Рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації

### 5.5.1. Компоновка та монтаж

Складальні роботи з монтажу полягають в установці апаратів на металоконструкції, установці і приєднанні допоміжного устаткування, приєднання трубопроводів, деталей вузлів підведення і відводу продуктів, установці приладів теплового контролю й автоматичного регулювання. У процесі монтажу виявляються й усуваються дефекти конструкції і виготовлення апаратури. Одночасно здійснюється налагодження роботи апарата з метою підготовки до експлуатації. [69]

Проектом виробництва монтажних-складальних робіт передбачається наступна послідовність операцій зборки:

- установка корпуса аппарата на металлоконструкцию;
- установка элементов, що знаходяться усередині апарата;
- припасування і приєднання всіх трубопроводів;
- установка арматури і контрольно-вимірювальних приладів;
- герметизація місць з'єднання апарата (кришок, фланців і т.д.);

- приєднання допоміжних механізмів і пристроїв;
- установка огорожень;
- випробування апарата на герметичність і здача інженеру Держтехнагляду;
- пробна експлуатація установка;
- проведення теплоізоляційних робіт (якщо потрібно);
- здача установки в експлуатацію.

### 5.5.2. Випробування

Після закінчення монтажно-збиральних робіт апарат має неодмінно пройти випробування. Спочатку проводять підготовчі роботи, пов'язані з оглядом та перевіркою стану всіх частин та вузлів апарата.

При цьому особливу увагу необхідно звернути на присутність в конструкції арматури, приладів, кришок, заглушок, болтів, прокладок та інших деталей, які забезпечують герметичність системи. [69]

В програму випробувань входить гідравлічне та пневматичне випробування апарата разом з трубопроводами на тиск, який вказаний на кресленні. При випробуваннях виявляють герметичність та надійність роботи вентилів, кранів, клапанів та іншої арматури, а також щільність всіх роз'ємних з'єднань.

Підготовка апарата до експлуатації включає перевірку витрат теплоносіїв, температур теплоносіїв на вході та на виході з апарату, тиск всередині апарата та в трубопроводі. При цьому слід звернути увагу на легкість та надійність управління технологічним процесом. [69]

Результати випробувань виявляють дефекти та недоліки, які заносять в акт випробувань на конкретно взятий апарат.

Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажною організацією та замовника.

### 5.5.3. Вимоги до експлуатації

Для дотримання правильного експлуатаційного режиму установки необхідні [69]:

- справність і безперебійність роботи устаткування;
- високий рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- забезпечення необхідними видами енергії і раціональна її витрата.

Для безперебійної роботи устаткування необхідний:

- достатній резерв основного і допоміжного устаткування і дотримання правил технічної експлуатації;
- своєчасне виконання планово-попереджувальних ремонтів устаткування і наявність запасних частин для вузлів і деталей, які швидко зношуються.

### 5.6. Висновки

1. Описано технологічний процес екстракції олії з рослинної сировини та спроектовано апаратурно-технологічно схему виробництва.
2. Обрано та спроектовано конструкцію акустичного екстрактора.
3. Проведено тепловий розрахунок акустичного екстрактора.
4. Проведено розрахунок апарату на міцність та розрахунок основних конструктивних елементів.
5. Надано рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації.

## 6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 6.1. Резюме

Вдосконалення виробництва різних продуктів на основі інноваційних методів ведення технологічних процесів є необхідною передумовою розвитку сучасної промисловості.

Однією з проблем на вирішення якої направлені інноваційні методи і технології є максимальне вилучення корисних продуктів з сировини. Зокрема це стосується виробництва олій, які знаходять своє застосування не лише як необхідний продукт харчування, але і як сировина для створення біопалив.

Екстракція олії забезпечує максимальне знежиренні рослинної сировини і здійснюється шляхом масопереносу. Масоперенос при екстракції олії із частинок попередньо подрібненої рослинної сировини складається з процесу масовіддачі на поверхні частинок і дифузії всередині.

Даний проект присвячений розробці акустичного екстрактора для вилучення олії з рослинної сировини.

**Мета наукової розробки:** покращення технологічної схеми виробництва, і як наслідок підвищення швидкості виробництва і якості, технічне рішення для подальшої автоматизації.

Головною метою наукової розробки є отримання прибутку за рахунок виробництва і реалізації конкурентоспроможної продукції.

Проектом передбачається створення підприємства з виготовлення рослинної олії для різних галузей промисловості, яке буде працювати на території м. Києва.

**Суб'єкт замовлення:** юридична, фізична особа або фізична особа підприємця.

**Об'єкт дослідження:** інноваційна продукція (модернізована конструкція екстрактора).

Даний проект розглядає 5 перших років роботи підприємства. Інвестиції в проект складають 10000000 грн. Плановий обсяг випуску – 5000 одиниць продукції.

Очікувана рентабельність – 30 %. Період повернення капіталовкладень 4 роки.

## 6.2. Аналіз зовнішнього та зовнішнього середовища підприємства

Промислове підприємство в процесі свого функціонування і розвитку як відкрита система постійно відчуває вплив зовнішнього середовища. Результати і ефективність діяльності підприємства в значній мірі визначаються його зовнішнім середовищем.

До зовнішніх факторів відносяться: географія, демографія, політика, економіка, культура та науково-технічний прогрес (НТП).

Всі ці фактори і їх вплив на підприємство розглянуто в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Зовнішнє середовище

Загрози	Можливості
<b>Географія</b>	
Через розміщення виробництва в м. Києві заробітна плата персоналу вища ніж в інших регіонах.	Виробництво знаходиться в столиці, що дає можливість постачати обладнання в найбільші фармацевтичні заводи без довготривалої та вартісної доставки.
При залученні працівників з ближніх міст/сіл/СМТ необхідно забезпечувати трансфер.	Виробництво позитивно впливає на обсяги продажу вітчизняної сировини.
Виробництво витрачає електроенергію що має негативний вплив на екологію.	Поряд з м. Києвом знаходиться багато міст/сіл/СМТ, жителі яких зацікавлені в роботі в столиці.
Виробництво продукує шкідливі викиди (навіть при очистці відходів, що є вартісним), що погано впливає на екологію.	В столиці розташовано більше постачальників сировини.
<b>Демографія</b>	
З кожним роком більше людей прагнуть працювати закордоном. Відтік кадрів.	Можливість залучити на виробництво студентів 4 і 5 курсів.

Продовження табл. 6.1

Збільшення пенсійного віку.	Зменшення рівня безробіття за рахунок збільшення вакантних робочих місць.
Жителі столиці менш схильні працювати на заводах.	Збільшення рівня освіти шляхом залучення студентів и набуття ними додаткових теоретичних та практичних знань.
Зменшення народжуваності призводить до зменшення кваліфікованих працівників.	
<b>Політика</b>	
Складність отримання необхідних сертифікатів на виготовлення обладнання.	Держава зацікавлена в залученні зарубіжного капіталу при продажу обладнання закордон.
Державне мито на продаж закордон.	Держава зацікавлена в стимулюванні розвитку ідеї, створеної на базі державної установи.
	Розвиток регіонів за рахунок введення нового обладнання.
<b>Економіка</b>	
Вартість комплектуючих і сировини досить висока через економічну ситуацію в країні.	Встановлення цін у доларах США щоб забезпечити підприємство падіння гривні.
Нестабільна економіка спричиняє проблеми з державними капіталовкладеннями.	Придбання вітчизняного обладнання вигідніше ніж придбання імпортного.
Велика конкуренція на ринку.	Через заборгованості держава зацікавлена у розробках і продажу на базі державних установ
<b>Культура</b>	
Для людей є більш привабливим працювати в офісі ніж на заводі.	Люди зацікавлені в роботі на базі державних підприємств (пенсія).
Для амбіційних випускників ВНЗ робота на заводі може здатись не досить престижною.	Через нехватку персоналу процеси можна автоматизувати.
<b>НТП</b>	
Деякий персонал потрібно перекваліфіковувати.	Рівень випускників українських ВНЗ досить високий для того щоб наймати їх без досвіду роботи.

Внутрішнє середовище підприємства визначає технічні та організаційні умови роботи підприємства і є результатом управлінських рішень. Метою аналізу внутрішнього середовища підприємства є виявлення слабких і сильних сторін його діяльності, так як, щоб скористатися зовнішніми можливостями, підприємство повинно мати певний внутрішній потенціал. Одночасно треба знати і слабкі місця, які можуть погіршити зовнішню загрозу і небезпеку. До факторів внутрішнього середовища належать постачальники, виробництво, конкуренти, посередники, споживачі (табл. 6.2).

Таблиця 6.2. Внутрішнє середовище

Переваги	Недоліки
<b>Постачальник</b>	
Великий вибір постачальників сировини.	Дефіцит компаній, які б задовольняли потреби підприємства.
Одноразовий вклад в обладнання і можливість використовувати його в подальшому для інших процесів.	Підвищення ціни на сировину.
Взаємозамінність та стандартизація деталей біотехнологічної, хімічної та харчової галузей.	
<b>Виробництво</b>	
Одноразове переобладнання комунікацій.	Переобладнання комунікацій для подачі теплоносія.
Збір і використання забрудненої води з інших етапів виробництва (витрата теплоносія $400 \text{ м}^3/\text{місяць} = 6320 \text{ грн/місяць}$ )	Залучень більшої кількості працівників, що призводить до більших витрат на ЗП.
Очистка води і передача її на інші етапи виробництва.	Збільшення витрат енергії на охолодження теплоносія ( $25,2 \text{ кВт/місяць} = 50,4 \text{ грн/місяць}$ при тарифі $2 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$ ).
<b>Конкуренти</b>	
Перехід від конкурентів за рахунок зацікавленості в інновації і інтенсифікації процесу.	Недовіра до нового продукту.
Одні на ринку.	Одні на ринку.
Покупка іншими компаніями прав на використання інновації.	При покупці іншими підприємства прав на використання інновації зменшення ринку збуту.

<b>Споживачі</b>	
Завжди є підприємства, які зацікавлені в продукції.	Вузький ринок збуту.
Можливість розширення закордонного ринку.	Не всі споживачі зацікавлені в покупці інновації.
Ринок збуту досить вузький, що не понесе великих втрат на рекламу.	Витрати на рекламу.
<b>Посередники</b>	
Використання старих посередників.	Відсутність бази посередників.
Ціна на продукцію нижча ніж на аналоги.	Старі посередники можуть відмовитися працювати з новим товаром.

Отже, провівши аналіз зовнішнього і внутрішнього середовища виявлені слабкі і сильні сторони підприємства. Аналіз показує в якому напрямку треба рухатися для успішного управління підприємством. При правильній організації функціонування підприємства необхідно спиратися на позитивні фактори і намагатися мінімізувати вплив негативних.

#### 6.2.1. Аналіз потенційного ринку збуту

Проведені маркетингові дослідження по пропонованій продукції свідчать про існування значного обсягу попиту на рослинну олію. Потенційними споживачами є хімічні, харчові, лакофарбові, металообробні, ливарні підприємства.

Попит на цю продукцію є стабільним, так як рослинна олія використовується у багатьох сферах життя – як промислових так і побутових.

Основними конкурентами є вітчизняні підприємства з багаторічним досвідом. Зважаючи на те, що продукція підприємства має нижчу ціну і використовує інноваційну технологію, вона може чинити конкуренцію очевидним лідерам на ринку.

Для аналізу конкурентного середовища за методом квадрату Бове обрано наступні підприємства-конкуренти:



1. ПП «Оліяр» (Львівська обл.)
2. ТОВ «УКРОЛІЯ» (Полтавська обл.)
3. ТОВ «Відродження» (Полтавська обл.)
4. ТОВ Харківнатпродукт (м. Харків)
5. ПП «МКПП ГОРГАЧІ» (м. Кіровоград)
6. *Розроблена інновація*

Таблиця 6.3. Квадрат Бове

УКРОЛІЯ	Оліяр
<i>Розроблена інновація</i>	МКПП ГОРГАЧІ
Відродження	Харківнатпродукт

За методом квадрату Бове запропоновану інженерну розробку можна віднести до зони “Готові обійти”, тому що завдяки інноваційній ідеї розробка може конкурувати з лідерами на ринку.

#### 6.2.2. Місце розробки у системі цінностей за методом Бостонської матриці

Будучи простим, але ефективним інструментом, матриця БКГ дозволяє виявити найбільш перспективні і, навпаки, «найслабші» продукти або підрозділи підприємства. Побудувавши матрицю БКГ, можна отримати наочну картину, на основі якої можна прийняти рішення про те, які товари (підрозділи, асортиментні групи) варто розвивати і берегти, а які слід ліквідувати.

Мета цієї матриці – аналіз актуальності продуктів компанії в залежності від зростання ринку даної продукції і займаної ним частки.

Таблиця 6.4. Метод БКГ

№ з/п	Підприємство	Обсяг реалізації, грн	Обсяг прибутку, грн
1	ПП «Оліяр»	8 700 000	3 100 000
2	ТОВ «УКРОЛІЯ»	5 070 000	1 926 000
3	ТОВ «Відродження»	2 000 000	525 000
4	ТОВ Харківнатпродукт	5 200 000	1 046 000
5	ПП «МКПП ГОРГАЧІ»	4 300 000	400 000
6	<i>Розроблена інновація</i>	2 850 000	572 000
<b>Разом</b>		56 090 000	130 833 350

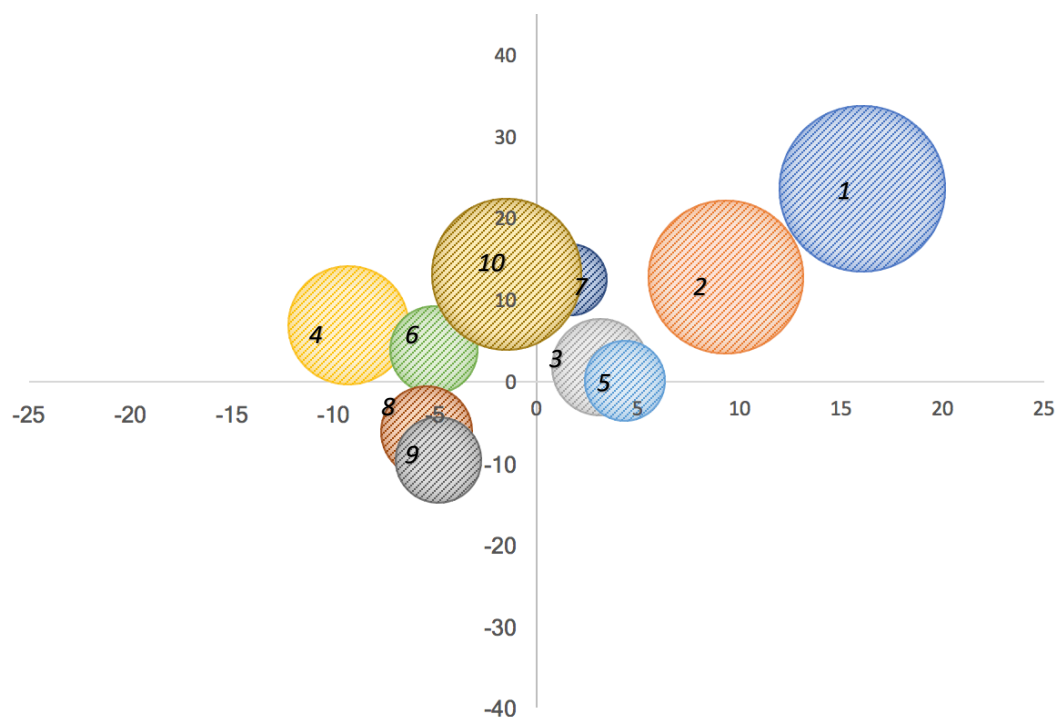


Рис.6.1. Матриця БКГ

Отже, за результатом аналізу за методом Бостонської матриці видно, що *Розроблена інновація* знаходить на перетині зон “Важкі діти” та “Зірки”. Отже, підприємство знаходиться на зростаючому ринку, але вимагає інвестиційних вкладень для збільшення конкурентоспроможності, перспективним товаром.

### 6.3. Ключові фактори успіху проекту

Ключові фактори успіху (або конкурентні переваги) – це характерний для певної галузі перелік чинників, що приносять їй переваги перед іншими галузями (наприклад, в боротьбі за інвестиції за рахунок більшої прибутковості або швидкості обороту капіталу), а також одним підприємствам галузі над іншими. Ці фактори не є постійними, вони змінюються в залежності від особливостей галузей, сегментів ринку, які обслуговуються, а також часу та етапу «життєвого циклу» галузі та підприємства. [70]

Для більш наочної оцінки технічного рівня проєктованого виробу і аналогів, а також для більшої об'єктивності оцінки порівняємо продукцію за методом Шонфільда.

A – ПП «Оліяр»

B – ТОВ «УКРОЛІЯ»

C – ТОВ «Відродження»

D – ТОВ Харківнатпродукт

E – ПП «МКПП ГОРГАЧІ» (м. Кіровоград)

F – Розроблена інновація

Таблиця 6.5. Метод Шонфільда

Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Конкурент/оцінка					
		A	B	C	D	E	F
Продуктивність, т/м <sup>2</sup> (П)	0,5	5	4	4	2	5	5
Ціна, грн/т (Ц)	0,2	4	2	2	3	4	4
К-ть постав. сировини, од (С)	0,1	3	4	3	4	5	4
Обсяг збуту, тис (ОЗ)	0,2	5	4	2	3	4	3

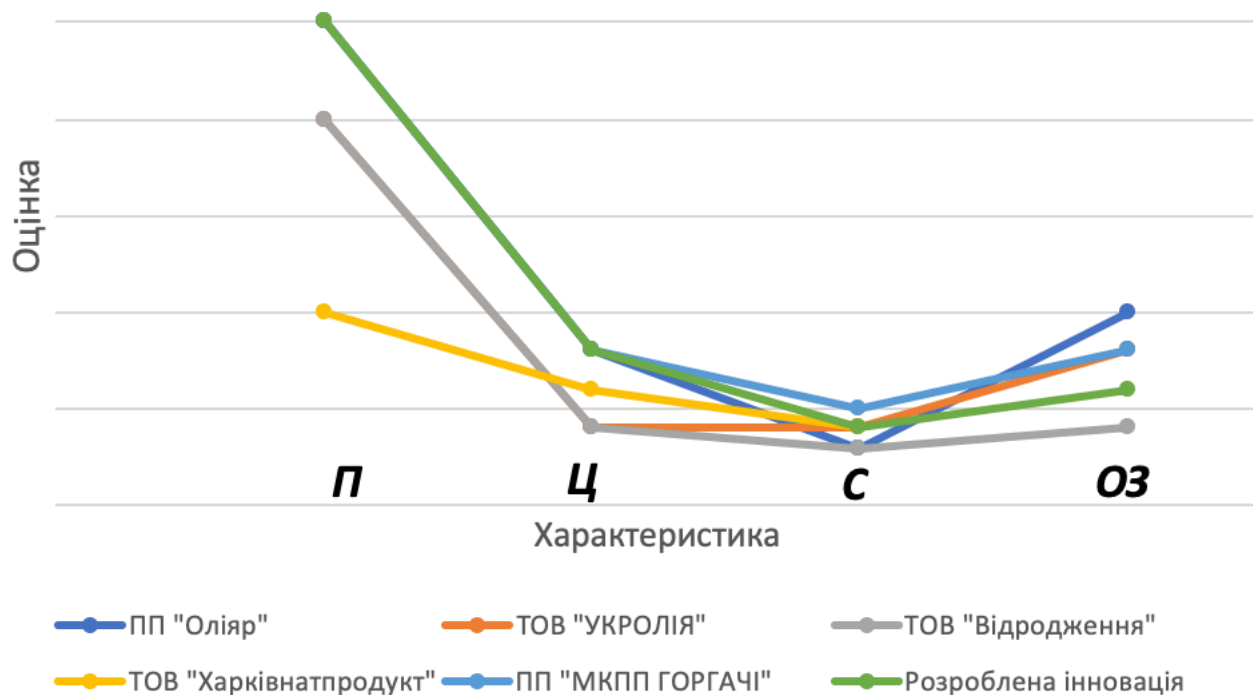


Рис. 6.2. Метод Шонфільда

Отже, провівши оцінку і порівняння конкурентів можна зробити висновок, що ключовим фактором інноваційної розробки є продуктивність. Завдяки впровадженню ультразвукового генератора в конструкцію екстрактора збільшується продуктивність апарату і, як наслідок, всього процесу.

#### 6.3.1. Анкета для споживачів

Анкета – інструмент для збору даних з метою підтвердження певної інформації. Анкетування використовується для забезпечення багатофакторності, швидкості отримання результатів і ефективного використання коштів.

Мета проведення анкетування:

1. Виявити споживчі переваги і фактори прийняття рішень.
2. Визначити відношення споживачів до інноваційного продукту.

*АНКЕТА*

1. Чи готові Ви придбати інноваційне обладнання з відмінними показниками якості?

- ☐ **Так**
- ☐ **Ні**

2. Чи готові Ви придбати обладнання у підприємства, яке щойно вийшло на ринок або віддає перевагу лідерам галузі?

- ☐ **Готовий (-а)**
- ☐ **Не готовий (-а)**

3. Відмітьте, будь ласка, які фактори мають ключове значення для Вашого підприємства.

- ☐ **Ціна**
- ☐ **Інноваційність продукту**
- ☐ **Перевіреність виробника**
- ☐ **Ваш варіант** \_\_\_\_\_

4. Звідки Ви найчастіше отримуєте інформацію про обладнання та новинки на ринку?

- ☐ **Інтернет**
- ☐ **Каталоги товарів**
- ☐ **Виставки або конференції**

5. Наскільки важливо для Вас бути лідером у своїй галузі, використовуючи інноваційне обладнання?

- ☐ **Важливо**
- ☐ **Не важливо**

#### 6.4. Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки

Однією з головних завдань будь-якого суб'єкта ринкових відносин є визначення ринкової позиції, для аналізу якої доцільно використовувати кількісну і якісну оцінки, що характеризують величину ринкової позиції і основні чинники, під впливом яких ця позиція формується.

##### 6.4.1. Анкета

1. *Яка адміністративно-територіальна одиниця країни на Вашу думку є найкращим місцем для успішного бізнесу?*

- ☐ ***Столиця***
- ☐ ***Місто***
- ☐ ***Село***
- ☐ ***Селище***
- ☐ ***Немає думки***

2. *Як Ви оцінюєте роботу місцевої влади у сприянні виходу підприємства на ринок?*

- ☐ ***Відмінно***
- ☐ ***Добре***
- ☐ ***Задовільно***
- ☐ ***Погано***
- ☐ ***Немає думки***

3. Наскільки є ефективною робота влади щодо розвитку інноваційного потенціалу міста, зокрема оцініть якість перелічених послуг.

<i>Послуга</i>	<i>Відмінно</i>	<i>Добре</i>	<i>Задовільн</i>	<i>Погано</i>
<i>Співробітництво з іншими регіонами/країнами</i>				
<i>Розвиток інфраструктури (транспортна, складська,</i>				
<i>Забезпечення прозорості податкових процедур</i>				
<i>Доступ до необхідної інформації</i>				
<i>Надання адміністративних послуг пов'язаних з виходом на ринки</i>				
<i>Покращення доступу до капіталу для підприємств</i>				

4. Яка, на Вашу думку, роль влади в розвитку інноваційного потенціалу місцевого бізнесу?

<i>Послуги, які необхідно впроваджувати</i>	<i>Повністю погоджуюсь</i>	<i>Скоріше погоджуюсь</i>	<i>Скоріше не погоджуюсь</i>	<i>Не погоджуюсь</i>
<i>Прозорі механізми у інноваційній сфері</i>				
<i>Прозорі механізми у податковій сфері</i>				
<i>Якісні адміністративні послуги</i>				
<i>Фінансові стимули для виходу на ринок</i>				
<i>Розвиток робочої сили</i>				
<i>Маркетингова підтримка</i>				
<i>Консультативний супровід</i>				

5. Які з факторів мають найбільш негативний вплив на розвиток експортного потенціалу Вашого бізнесу?

<i>Внутрішня конкуренція</i>	
<i>Загальна економічна ситуація</i>	
<i>Застарілі засоби виробництва</i>	
<i>Витрати на енергію</i>	
<i>Низький рівень співпраці влади та бізнесу</i>	
<i>Складність сертифікації продукції</i>	
<i>Нестача кваліфікованих працівників</i>	
<i>Недостатність фінансування</i>	

#### 6.4.2. Договір на виконання НДР [71]

**ДОГОВІР №**

**на виконання науково-дослідних робіт**

Київ

“ ” 20 p.

## 1. Предмет договору

1.1. Замовник доручає, а Виконавець бере на себе зобов'язання провести за завданням Замовника наукові дослідження:

---

---

---

найменування наукової теми

а Замовник зобов'язується прийняти виконану роботу та оплатити її.

1.2. Наукові, технічні, економічні та інші вимоги до наукової продукції, що є предметом договору, визначаються Технічним завданням, яке є невід'ємною частиною цього договору

1.3. Термін здачі робіт за договором «                    »                      20           р.

1.4. Зміст, терміни виконання основних етапів визначаються Календарним планом, що є невід'ємною частиною цього договору.

1.5. Прийняття та оцінка наукової продукції здійснюються відповідно Технічному завданню .

1.6. Виконані за договором наукові дослідження є власністю Замовника з урахуванням того, що права винахідника охороняються патентним законодавством, а права автора – авторським правом. При використанні інших додаткових джерел фінансування право сторін на створену продукцію погоджується сторонами в додатковій угоді.

1.7. Виконавець може використовувати результати теми для власних потреб з науковою метою, а для отримання прибутку лише за умов, визначених додатковою угодою.



## 2. Вартість робіт та порядок розрахунків

2.1. Вартість наукової роботи визначається календарним планом та складає

\_\_\_\_\_ тис. грн. \_\_\_\_\_ в т.ч. ПДВ

\_\_\_\_\_

*сума в гривнях прописом*

відповідно до Протоколу узгодження вартості науково-технічної роботи.

Без ПДВ (згідно із ст. 197.1.22. Податкового Кодексу України).

Планова калькуляція кошторисної вартості робіт та розрахунки витрат за статтями наведені у Додатку.

2.2. Оплата за кожний етап проводиться у такі терміни:

а) у строк до 10 календарних днів Замовник оплачує Виконавцю 50% від загальної суми етапу.

б) 50% від загальної суми цього етапу перераховується Виконавцю Замовником у строк до 3 банківських днів після підписання акту прийому-передачі.

2.3. Остаточний розрахунок за кожним етапом здійснюється після здачі роботи за актом прийому-передачі в термін 3 банківських днів зі дня його підписання.

## 3. Порядок та строки здавання і приймання робіт

3.1. Перелік наукової, технічної та іншої документації, що підлягає оформленню та здаванню Виконавцем Замовнику на окремих етапах виконання і по закінченню договору, визначається технічним завданням, що є частиною договору (додаток).

3.2. Виконання проміжних етапів оформлюється Виконавцем актами здачі-приймання, які направляються Замовнику відповідно до календарного плану.

3.3. При завершенні робіт Виконавець подає Замовнику акт здачі-приймання наукової продукції з додаванням до нього комплексу наукової, технічної та іншої документації, передбаченої технічним завданням та умовами договору.

3.4. Замовник протягом 5 робочих днів з дня отримання акту здачі-приймання робіт та звітних документів, зазначених у п. 3.3 цього договору, зобов'язаний надіслати Виконавцю підписаний акт здачі-приймання наукової продукції або мотивовану відмову від приймання робіт.

3.6. У разі дострокового виконання робіт Замовник має право достроково прийняти та оплатити їх за ціною, що вказана в договорі.

3.7. Якщо в процесі виконання роботи з'ясовується недоцільність подальшого її проведення, Виконавець повинен призупинити роботу та повідомити про це Замовника протягом 5 робочих днів після її призупинення. Після повідомлення сторони повинні протягом 10 днів розглянути питання про доцільність продовження роботи. Відповідне рішення оформлюється Протоколом сторін.

#### **4. Відповідальність сторін**

4.1. За невиконання або неналежне виконання зобов'язань за цим договором Виконавець та Замовник несуть відповідальність згідно з чинним законодавством.

4.2. В разі виникнення форс-мажорних обставин Замовник зобов'язаний надіслати письмове повідомлення виконавцю не пізніше 15 днів з моменту їх виникнення.

4.3. Науково-дослідна робота виконується за відкритим планом, без обмежуючих грифів.

4.4. Якщо відповідний спір не можливо вирішити шляхом переговорів, він вирішується у Господарському суді Одеської області.

#### **5. Інші умови**

5.1. За згодою сторін зміст пунктів технічного завдання, термін дії Договору або етапів Календарного плану, а також вартість робіт за договором (в тому числі при несвоєчасному отриманні Виконавцем фінансування на виконання цієї роботи) можуть бути змінені в процесі виконання роботи, що

оформлюється додатковою угодою, яка є невід'ємною частиною Договору. Внесення змін до калькуляції кошторисної вартості проводиться за 30 днів до початку наступного етапу на підставі додаткової угоди до цього Договору.

## 5.2. Інші умови за розсудом сторін

## 6. Термін дії договору та юридичні адреси сторін

6.1. Договір набирає чинності з моменту підписання і діє до «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

6.2. Юридичні адреси і банківські реквізити.

### 6.4.3. Джерела фінансування НДР

Інвестиції в НДР забезпечують і супроводжують проект. Це насамперед матеріальні засоби (устаткування, стенди, комп'ютери і різноманітні прилади), необхідні для проведення досліджень, а також оборотні кошти, наприклад, для забезпечення поточної діяльності НДР чи вищого навчального закладу на замовлення підприємства.

Плануючи інноваційну діяльність, слід визначити загальний обсяг інвестицій для реалізації інноваційного проекту чи програми. Його величина обумовлює комерційну вигідність інновації і має бути врахована при обґрунтуванні рішення щодо її реалізації.

Джерелами фінансових ресурсів підприємства можуть бути:

- власні фінансові кошти і внутрішньогосподарські резерви;
- позикові фінансові кошти;
- залучені фінансові кошти, одержані від продажу акцій, пайових та інших внесків членів трудових колективів, громадян, юридичних осіб;
- кошти, що перебувають у централізованому володінні об'єднань підприємств;
- кошти позабюджетних фондів;
- кошти Державного бюджету;
- кошти іноземних інвесторів.

Далі запропоновано джерело фінансування для підприємства *Розробленої інновації*.

Таблиця 6.6. Запропоноване джерело фінансування

Кредит	Дебіт
504	152
373	201
230	701
643	201
230	701

#### 6.4.4. Розрахунок техніко-економічних показників

Таблиця. 6.7. Економічні складові

№ з/п	Складова	Сума, грн
1	Сировина і матеріали	3 120 000
2	Вартість приміщення	2 000 000
3	Вартість обладнання	5 000 000
4	Нематеріальні активи	600 000
5	Інше	15 000
6	Амортизація	228 750
7	Заробітна плата персоналу (+ нарахування 22%)	420 900
8	Разом собівартість	6 264 650

Річна собівартість продукції:

$$C = O\delta Z + A = 6264650 \text{ грн / рік} . \quad (6.1)$$

За одиницю продукції приймаємо стандартне промислове фасування – 1 тонна. Собівартість одиниці продукції :

$$C_{од} = \frac{C}{B} = \frac{6246650}{150} = 41644 \text{ грн / од} . \quad (6.2)$$

Запланована ринкова ціна (за конкурентним методом) одиниці продукту:

$$Ц = 55000 \text{ грн / од} \quad (6.3)$$

Прибуток:

$$П = Ц - C = (55000 \cdot 150) - 6264650 = 1985350 \text{ грн / рік} . \quad (6.4)$$

Капіталовкладення:

$$K = 10000000 \text{ грн} . \quad (6.5)$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{П}{C} \cdot 100\% = 31,6\% . \quad (6.6)$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{П} = \frac{10000000}{1985350} = 5 \text{ років} \quad (6.7)$$

#### 6.4.5. Розрахунок ціни інноваційної пропозиції

Для того, щоб розрахувати собівартість продукції необхідно визначити всі витрати, які мають місце в процесі виробництва. Підприємство буде витратити кошти на придбання матеріалів і сировини, виплату заробітної плати основним виробничим робітникам, оплату витраченої електроенергії, а також нести додаткові витрати, пов'язані з організацією та здійсненням діяльності підприємства. Собівартість складає 6 264 650 грн/рік.

Далі визначимо ціну інноваційного продукту. Розрахунок ціни буде виконуватись за наступними методами:

- витратний;
- параметричний;
- конкурентним;
- методом точки беззбитковості.

а) Витратний метод

В основі цього методу лежить ідея розрахунку собівартості товару як головної складової ціни. В товарно-грошових умовах собівартість продукції містить у собі всі існуючі витрати, які необхідні на виробництво і збут товару, які зроблені за рахунок підприємства. Однак існують такі витрати, які пов'язані з виробництвом товару, але не відносяться до собівартості, тому що фінансуються за рахунок прибутку, спеціальних фондів, бюджетних асигнувань і т. ін. [60]

$$Ц = C + \%П, \quad (6.8)$$

$$Ц = 41644 + 20\% = 49973 \text{ грн.} \quad (6.9)$$

б) Параметричний метод

Цей метод належить до конкурентної моделі ціноутворення. Якщо підприємство розробило новий товар із певними технічними та економічними параметрами, кращими чи гіршими за аналогічні параметри товару свого основного ринкового конкурента, то воно може встановлювати ціну з урахуванням інтегрального показника конкурентоспроможності.

Питома ціна одиниці виробу  $Ц_{num}$ :

$$Ц_{num} = \frac{Ц_{\delta}}{X_{\delta}} = \frac{55000}{130} = 432 \text{ грн.} \quad (6.10)$$

Питома собівартість одиниці виробу  $C_{num}$ :

$$C_{num} = \frac{C_{\delta}}{X_{\delta}} = \frac{41644}{130} = 320 \text{ грн,} \quad (6.11)$$

де  $Ц_{\delta}$  – ціна базового виробу,

$C_{\delta}$  – собівартість базового виробу,

$X_6$  – значення основного параметра базового виробу у відповідних одиницях (продуктивність – 130 кг/цикл).

Визначення ціни нового виробу:

$$C_n = C_{\text{нм}} \cdot X_n + H = 432 \cdot 130 + 100 = 56260 \text{ грн}, \quad (6.12)$$

де  $X_n$  – кількісне значення головного параметра нового виробу,

$H$  – надбавки/знижки, які відображують зміни інших споживчих характеристик нового виробу 100 грн.

#### в) Метод точки беззбитковості

Метод заснований на розрахунках сукупних витрат підприємства і її сукупного доходу, одержаного в результаті реалізації різних обсягів виробленої продукції. Метод потребує розгляду різних варіантів ціни, і визначення їх впливу на обсяги збуту, необхідного для подолання рівня беззбитковості. [70]

$$C = \frac{A + O_{\text{бз}} \cdot B}{B} = \frac{228750 + 6035900 \cdot 150}{150 \cdot 150} = 42250 \text{ грн}. \quad (6.13)$$

#### г) Метод конкурентних цін

Метод використовують підприємства, які виходять виключно з умов конкуренції і встановлюють ціну ледве вище або нижче, ніж конкуренти. Застосовується цей метод на ринку, де продаються однорідні товари в умовах чистої конкуренції. Ціни на ньому формуються в результаті спільних дій добре інформованих продавців і покупців, в цих умовах продати товар за вищою ціною не є можливим, в той же час не потрібно встановлювати і нижчу ціну, оскільки товари можуть бути реалізовані і по цій, прийнятною ринком, ціні.

Оцінивши ринкові ціни на аналогічну продукцію мною було вирішено встановити ціну в розмірі 55 000 грн

Отже, визначивши ціни основними методами можна зробити висновки:

- Витратний метод досить зручний, але при його застосуванні ціна може значно відрізнятися від ринкових, а також можливі коливання оптимального збільшення прибутку в залежності від різних факторів (наприклад пори року тощо);

- Параметричний метод містить велику долю суб'єктивізму. Також цей метод не враховує інші споживчі властивості і попит на ринку.

- Метод точки беззбитковості дає можливість дуже точно визначити ціну на продукцію, але виникає необхідність значного спрощення зв'язків ціни та обсягу виробництва;

- Метод конкурентних цін дає змогу визначити оптимальну ціну для ринку, але підприємство орієнтується не на витрати й попит, а на поточні ціни конкурентів, встановлюючи власні ціни трохи вище або нижче.

Для запропонованого підприємства мною був обраний метод конкурентних цін. При такому методі ціноутворення ціна є трохи вище середнього (порівнюючи всі розглянуті методи), але забезпечує гарні показники для підприємства:

- прибуток у розмірі 1 985 350 грн/рік;
- термін повернення капіталовкладень.

## 6.5. Оцінка ризиків та страхування розробки

Інновації та інноваційна діяльність пов'язані зі значним ризиком, оскільки зміст інновацій складають зміни, які розглядаються як джерело доходу, а процеси і результати змін містять істотну частку елементів невизначеності і спричиненого нею ризику. При цьому раціональна поведінка полягає в тому, щоб не ігнорувати ризик, а належним чином враховувати для обґрунтування заходів, спрямованих на його попередження, зниження чи компенсацію. [70]

Ризик інноваційного проекту – це міра непевності в одержанні очікуваного рівня прибутковості при реалізації інноваційного проекту в реальних умовах господарювання.

Оскільки альтернативи інноваційному шляху розвитку немає, то виникає об'єктивна необхідність розробити способи запобігання, зниження чи компенсації можливих негативних наслідків ризику. Попереднім етапом такої



роботи є оцінка ризикованості проекту та величини ймовірних витрат при настанні ризикової події.

Ризики при реалізації інноваційного проекту можуть виникнути або на стадії продукування та вибору ідеї інноваційного проекту, або вже на стадії безпосередньої розробки та впровадження інноваційного проекту в реальних умовах господарювання. В будь-якому випадку, чим пізніше виявився (ідентифікувався) той чи інший ризик, тим більша імовірність виникнення збитків або тим більшою виявляється недосяжність поставлених цілей. [70]

Основними етапами оцінки ризиків інноваційних проектів підприємства є наступні:

1. Визначення окремих (елементарних) ризиків реалізації даного інноваційного проекту. При цьому необхідно ідентифікувати ризики, які можуть виникнути в будь-який момент здійснення проекту та, за можливості, систематизувати їх.

2. Оцінка інформації для визначення рівня окремих проектних ризиків. Інформація щодо зовнішнього середовища функціонування підприємства присутня завжди, проте особі, що приймає рішення щодо доцільності та економічної ефективності певного інноваційного проекту, слід звертати увагу на її достовірність та можливість застосування при аналізі. Ретроспективні дані використовуються за наявності аналогій в інноваційній діяльності минулих років (при цьому умови реалізації та галузь застосування повинні бути подібними). Якщо ж інновація є новітньою для підприємства і його оцінка за рівнем ризиків здійснюється в умовах відсутності будь-яких статистичних даних, то виникає необхідність у застосуванні методів, що використовують інструменти оцінки суб'єктивної вірогідності.

3. Вибір та використання відповідних методів оцінки вірогідності окремих проектних ризиків. Аналіз елементарного ризику інноваційного проекту базується на оцінці ризиків, що притаманні його грошовим потокам. Тобто ймовірності відхилення отриманого грошового надходження від

запланованого його значення в проспекті проекту. Враховується також рівень кореляції та характер розподілу даних ймовірностей.

Для кількісного оцінювання ризику існують різні методи, серед яких найбільш поширені статистичний (у тому числі метод статистичних випробувань чи метод Монте-Карло); аналітичний; метод використання дерева рішень та імовірнісного підходу; метод оцінювання фінансової стійкості або оцінювання доцільності витрат; метод експертних оцінок; нормативний метод; метод аналізу чутливості; метод використання аналогів та ін. Кожний з названих методів має свої переваги і недоліки і використовується в цілком конкретних ситуаціях; універсального методу, прийнятного для всіх випадків, не існує. [70]

4. Визначення розміру можливих фінансових наслідків при настанні ризикової події у зв'язку з реалізацією інновації. Розмір можливих фінансових втрат обумовлюється видом інновації, обсягом залученого інвестиційного капіталу, рівнем ризику, передбаченого даним проектом, а також діапазоном відхилень фактично отримуваного доходу від очікуваного значення.

На основі отриманих характеристик здійснюється позиціонування проектів відносно можливих фінансових втрат при настанні ризикової події по зонах ризиків: без ризикова зона; зона припустимого ризику; зона критичного ризику; зона катастрофічного ризику.

5. Оцінка загального проектного ризику. Загальний рівень ризику, притаманного конкретному інноваційному проекту, теоретично оцінюється як функція значень рівнів ідентифікованих елементарних ризиків по проекту. При цьому слід також враховувати взаємний вплив реалізації інноваційного проекту на зміну дохідності активів підприємства та середньогалузеві доходи від інноваційної діяльності.

6. Співставлення рівня проектного ризику з фінансовими можливостями підприємства. У розпорядження підприємства повинні бути достатні кошти не лише для реалізації даного інноваційного проекту, але й для страхування від ймовірного настання тих чи інших ризикових подій, які ставитимуть під сумнів можливість отримання прибутку від інновацій. Але

витрати на страхування як один із методів фінансування ризику зменшують активи підприємства, які воно могло спрямувати на інновації чи інвестиції та отримати прибуток. Тому слід виважено підходити до величини ціни страхування, тобто до розміру страхової премії.

7. Співставлення рівня проектного ризику з рівнем дохідності проекту. Основою діяльності будь-якого підприємця є прагнення отримати прибуток, саме тому величина ймовірних втрат повинна бути співрозмірною із величиною отриманого прибутку чи інших конкурентних переваг від впровадження інноваційного проекту.

8. Ранжирування альтернативних інноваційних проектів за рівнем ризику. Узагальнююча порівняльна оцінка здійснюється за допомогою двох методів:

- на основі варіації усіх кінцевих показників ефективності проектів від їх середніх значень;
- на основі відхилень пріоритетних для підприємства показників ефективності проекту.

Ризик інноваційного проекту не приймає статичного, абсолютного значення раз і назавжди. Його природа така, що він змінює свої характеристики залежно від стадії інноваційного проекту. Тому керівництву підприємства слід здійснювати постійний моніторинг процесів впровадження та управління інноваційним проектом для своєчасного виявлення слабких сигналів та для підготовки механізму ефективного управління ризиками.

Страхування інновацій слід розділяти за такими напрямками, як забезпечення страхового захисту суб'єктів інноваційної сфери і постадійне страхування інноваційних процесів. У зв'язку з цим і відповідальність страховика в страховому покритті різна.

У процесі здійснення інноваційної діяльності виділяють:

- страхування відповідальності роботодавців за шкоду, заподіяну здоров'ю працівників при виконанні ними своїх службових обов'язків;

- страхування відповідальності виробників товарів за шкоду, заподіяну в результаті споживання їх продукції;
- страхування відповідальності підприємств, пов'язане із забрудненням навколишнього природного середовища;
- страхування відповідальності перед третіми особами при здійсненні будівельно-монтажних робіт;
- страхування відповідальності за невиконання зобов'язань.

В інноваційній сфері частіше має місце страхування підприємцем працюючих за наймом осіб: інженер, маркетолог, фінансист, менеджер. Мета даного виду страхування – покриття відповідальності за нанесення майнової шкоди в результаті помилкових дій представників перерахованих вище професій.

Найбільш характерними видами для інноваційного процесу є операції, де об'єктом виступає інтелектуальна власність, фонди підприємств, які здійснюють НДДКР, а також процеси розробки та освоєння нововведень, що містять технічні та кредитні ризики. [70]

Інноваційні підприємства гостро потребують державних і приватних фондів страхування від можливих невдач, оскільки інноваційна діяльність має високий ступінь комерційного ризику.

Визначальним моментом страхового захисту учасників інноваційної діяльності є титульне страхування, покликане забезпечити інтереси власників інтелектуального продукту і матеріально-речових засобів виробництва, залучених в господарський оборот.

Титульне страхування – особливий вид страхування майнових інтересів власників, орендарів, кредиторів та інших зацікавлених осіб, пов'язаних з переходом прав власності. Ці особи ризикують опинитися в ситуації, коли права власності можуть бути порушені в результаті розпорядження об'єктом власності без узгодження з його власником (наприклад, піратське тиражування) або оскаржені через порушення, вчинені у попередніх актах переходу прав власності.

Особливу роль в активізації інноваційної та інвестиційної діяльності в сфері малого підприємництва має відіграти страхування інновацій та інвестицій від некомерційних ризиків – перенесення політико-економічного ризику із страхувальника за певну плату (страховий внесок або страхову премію) на страховика - спеціалізовану організацію, що займається управлінням страховим фондом, сформованим із страхових внесків (премій) страхувальників. Розподіл ризиків за групами, територіями і часу дозволяє страховику при правильному веденні справ забезпечувати ефективний захист інтересів страхувальника за багатьма ризикам, що поєднує політичну компоненту з економічної. Найбільш реальним і перспективним в даний час є страхування життя і здоров'я фізичних осіб, страхування приміщень, обладнання та іншого майна, що використовується для здійснення венчурного проекту. Таке страхування – ефективний засіб забезпечення безперервності венчурного проекту та зниження ступеня ризику венчурного інвестора втратити свої доходи, оскільки передбачає компенсацію непрямих витрат і втрат прибутку в результаті настання страхових подій, передбачених договором. [70]

Підвищений рівень ризику діяльності малих інноваційних підприємств висуває особливі вимоги до роботи з підготовки договору про страхування. Одночасно можуть створюватися системи страхування, перестрахування, а також гарантування повернення кредитів (послуги але гарантування, як правило, дешевші, ніж послуги зі страхування). Методи страхування ризиків інноваційних проектів можуть бути згруповані за такими укрупненими напрямками:

- 1) купівля загального (генерального) страхового поліса від усіх ризиків на суму ймовірних втрат від конкретних інноваційних ризиків;
- 2) придбання спеціалізованих страховок за типовими інноваційним ризиків, які виділяються в якості об'єктів страхування страховими компаніями з широким спектром застрахованих ризиків або компаніями, що спеціалізуються на операціях з інноваційними ризиками;
- 3) оформлення особливих страховок по індивідуально сформульованим (нетиповим) ризикам і договірними умовами страхування.

## 6.6. Висновок

Представлена бізнес-ідея виробництва рослинної олії в обладнанні удосконаленої конструкції. Проведений аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства показав, в якому напрямку необхідно здійснювати рух підприємству для досягнення успішності.

Дослідження за допомогою методу Бове показали, що запропонована розробка відноситься до зони “Готові обійти”, тому що завдяки інноваційній ідеї розробка може конкурувати з лідерами на ринку.

Ринок збуту включає п'ять великих промисловостей – хімічні, харчові, лакофарбові, металообробні, ливарні підприємства.

За результатами аналізу методом БКГ виявлено, що запропоноване інновація знаходиться на перетині зон “Важкі діти” та “Зірки”. Отже, підприємство знаходиться на зростаючому ринку, але вимагає інвестиційних вкладень для збільшення конкурентоспроможності, перспективним товаром.

Ключовим фактором є продуктивність.

Ціну інноваційної розробки було обрано 55 000 грн/од (конкурентним методом). Прибуток становить 1 985 350 грн/рік, рентабельність – 31,6%.

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз існуючих обладнання екстракції олії з рослинної сировини. Проаналізовані сучасні технології, що забезпечують інтенсифікацію процесу екстракції. Встановлено, що найбільш ефективним методом впливу
2. На основі аналізу встановлено, що найбільш ефективним для інтенсифікації процесів екстракції олії з рослинної сировини є використання ультразвуку
3. Проведені експериментальні дослідження для визначення впливу ультразвуку на екстракцію олії із різних видів сировини найбільш поширеними екстрагентами.
4. Проведені експериментальні дослідження кінетики процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку і без ультразвуку, які представлені типовими лініями внутрішньодифузійного механізму екстрагування. В початкові моменти часу, протягом 10 хвилин спостерігається інтенсивне вимивання олії зі зруйнованих клітин, тобто розчинення вільної олії, яка знаходиться на зовнішніх поверхнях твердих частинок. Далі спостерігається повільна дифузія олії з неушкоджених клітин.
5. Побудовано математичну модель процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без неї.
6. На основі розв'язання математичної моделі і отриманих експериментальних даних встановлені коефіцієнти молекулярної дифузії та коефіцієнти масопровідності або внутрішньої дифузії.
7. Побудовано математичну модель процесу в акустичному екстакторі.
8. На основі розв'язання математичної моделі встановлено час процесу процесу екстракції
9. Виконано розрахунки для різних умов роботи екстактора з використанням експериментальних значень коефіцієнти дифузії (КАКІЕ)
10. В результаті виконаних розрахунків встановлено що тривалість екстракції в умовах ультразвукової дії зменшується в 2-2,5 рази порівняно з
11. Розроблена конструкція акустичного екстактора

12. Проведено моделювання в зикористання програмного пакету Солид та побудовано 3д-модель акустичного екстрактора і його основних констуктивних елементів

13. Виконано розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність конструкції.

14. Розроблено стартап-проект.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белобородов В. В. Основные процессы производства растительных масел / В. В. Белобородов. – Москва: Пищевая промышленность, 1966. – 478 с.
2. Actual methods for obtaining vegetable oil from oilseeds / [M. Ionescu, N. Ungureanu, S. Biris and all]. // International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development. – 2013. – P. 167–172.
3. Extraction of oil from algae by solvent extraction and oil expeller method / [N. S. Topare, S. J. Raut, V. C. Renge and all]. // International Journal of Chemical Sciences. 2011. Vol. 9. – 2011. – P. 1746–1750.
4. Hussain S. Solid liquid extraction of rice bran oil using binary mixture of ethyl acetate and dichloromethane / S. Hussain, A. Shafeeq, U. Anjum. // Journal of the Serbian Chemical Society, Vol. 83. – 2018. – С. 911–921.
5. Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья / Г. В. Жматкова, А. Н. Нефёдов, А. С. Гордеев, А. Б. Килимник. // Вестник ТГТУ. – 2005. – С. 701–707.
6. Improvement of Soybean Oil Solvent Extraction through Enzymatic Pretreatment / F. V. Grasso, P. A. Montoya, C. C. Camusso, B. G. Maroto. // International Journal of Agronomy. 2012. Vol. 12. – 2012. – P. 1–7.
7. Li H. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans / H. Li, L. Pordesimo, J. Weiss. // Food Research International. Vol. 37,. – 2004. – 3. 731–738.
8. Karachun V. Research of influence of ultrasound on the extraction of vegetable oil / V. Karachun, L. Ruzhindka, Zh. Ostapenko. // Technology Audit and Production Reserve. – 2019. – №1. – С. 33–35.
9. Choice of solvent extraction technique affects fatty acid composition of pistachio (*Pistacia vera* L.) oil / [A. Abdolshahi, M. Maid, J. Rad and all]. // Journal of Food Science and Technology Vol. 52. – 2013. – P. 2422–2427.
10. Новицкий Б. Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах / Б. Г. Новицкий. – Москва: Химия, 1983. – 192 с.

11. Пономарев В. Д. Экстракция лекарственного сырья / В. Д. Пономарев. – Москва: Медицина, 1976. – 202 с.
12. Sari P. Preliminary design and construction of a prototype canola seeds oil extraction machine / P. Sari. // Ph. D. Thesis, Middle East Technical University. – Ankara, Turkey, 2006.
13. Bamgboye A. Development of a sunflower oil expeller / A. Bamgboye, A. Adjumo. // the CIGR E-journal. Manuscript EE, Vol. 9. – 2007. – P. 6–15.
14. Owolarafe O. K. Mathematical modelling and simulation of the hydraulic expression of oil from oil palm fruit / O. K. Owolarafe. // Biosystems Engineering 101. – 2008. – C. 331–340.
15. Willems P. Hydraulic pressing of oilseeds. Experimental determination and modeling of yield and pressing rates / P. Willems. // Journal of Food Engineering 89. – 2008. – P. 8–16.
16. Ferchau E. Equipment of Decentralized Cold Pressing of Oil Seeds [Электронный ресурс] / E. Ferchau // Folkecenter For Renewable Energy. – 2000. – Режим доступа до ресурсу: [www.folkcenter.dk](http://www.folkcenter.dk).
17. Bargale P. C. Mathematical oil; expression from selected oilseeds under uniaxial compression / P. C. Bargale. // Ph.D. Thesis, University of Saskatchewan. Canada. – 1977.
18. Xiao J. B. Supercritical fluid CO<sub>2</sub> extraction of essential oil from *Marchantia convoluta*: global yield and extract chemical composition / J. B. Xiao. // Electronic Journal of Biotechnology ISSN: 0717-3458, Vol. 10. – 2007.
19. Чуешов В. И. Промышленная технология лекарств. Учебник в 2-х томах. Том 2. / В. И. Чуешов, М. Ю. Чернов, Л. М. Хохлова. – Харьков: "МТК - Книга", 2002. – 716 с.
20. Дябцев Н. И. Газовое дело / Н. И. Дябцев, Р. С. Хучуа. – 1969. – С. 35–49.

21. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий / [Г. М. Островский, А. Р. Шовкетович, Ф. Л. Биленок та ін.]. – СПб: НПО "Профессионал", 2006. – 916 с.
22. Bidstrup D. E. Aqueous molecular diffusivities of carboxylic acids / D. E. Bidstrup, C. J. Geankoplis. // J. Chem. Eng. Data Vol. 8. – 1963. – P. 170–173.
23. Blok W. I. Method for determining diffusion coefficients of slightly soluble gases in liquids / W. I. Blok, J. M. Fortuin. // Chem. Eng. Sci. Vol. 36. – 1961. – №10. – P. 1687–1694.
24. Blok W. I. Bestimmung des Diffusionskoeffizienten von Wasserstoff in Wasser und wässrigen Polymerlösungen nach der CBC-Methode / W. I. Blok, J. M. Fortuin, D. P. Vermeulen. // Chem. Eng. Sci. Vol. 17. – 1982. – №1. – P. 11–16.
25. Boerboom A. Diffusion coefficients of noble gases in water / A. Boerboom, G. Kleyn. // J. Chem. Phys. Vol. 50. – 1969. – №3. – P. 1086–1088.
26. Bonoli I. Diffusion of aromatic and cycloparaffin hydrocarbons in water from 20 to 60 °C / I. Bonoli, P. Witherspoon. // J. Phys. Chem. Vol. 72. – 1968. – №7. – P. 2532–2534.
27. Chang P. Some measurements of diffusion in liquids / P. Chang, C. Wilke. // J. Phys. Chem. Vol. 59. – 1955. – P. 592–596.
28. Chen H. C. Diffusion of slightly soluble gases in liquids: measurement and correlation with implication on liquids structures / H. C. Chen, S. N. Chen. // Chem. Eng. Sci. Vol. 40. – 1985. – №9. – P. 1735–1741.
29. Chen H. C. Taylor dispersion measurement of the diffusivities of polymethylenes in dilute solutions / H. C. Chen, S. N. Chen. // Chem. Eng. Sci. Vol. 40. – 1985. – №3. – P. 521–526.
30. Chen S. N. Interfacial resistance in the adsorption of methyl chloride into water / S. N. Chen, H. L. Toor. // A. I. Ch. E.-J. Vol. 5. – 1960. – P. 165–168.
31. Chen S. N. Mass transfer with interfacial absorption of oxygen by water / S. N. Chen, H. L. Toor. // A. I. Ch. E.-J. Vol. 6. – 1959. – P. 539–542.

32. Christoffer H. The diffusion coefficient densities and viscosities of solutions of acetamide in water / H. Christoffer, G. Kegeles. // J. Am. Chem. Soc. Vol. 85. – 1963. – №17. – P. 2562–2565.

33. Розроблення високоефективної віброекстракційної апаратури та перспективи її практичного використання / [Зав'ялов, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова та ін.]. // Вібрації в техніці та технологіях. – 2017. – №2. – С. 81.

34. Зав'ялов В. Л. Наукове обґрунтування та апаратурне оформлення процесу віброекстрагування в харчовій промисловості : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук / Зав'ялов В. Л. – Київ, 2014.

35. Пат. 85436 Україна, МПК В01Д 11/02. Екстрактор / Зав'ялов В. Л., Попова Н. В. - № а 2007 03027; заявл. 22.03.07; опубл. 26.01.09 Бюл. №2

36. Пат. 99991 Україна, МПК В01Д 11/02 (2006.01). Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В. Л., Бодров В. С., Попова Н. В., Мисюра Т. Г., Варганова І. В., Мілютін О. І. «№ а 2011 12896; опубл. 25.10.12, Бюл. №20

37. Пат. 103838 Україна, МПК В01Д 11/02 (2006.01) Вібраційний екстрактор періодичної дії з комбінованим енергопідведенням / В. Л. Зав'ялов, В. Є. Деканський, Бодров В. С., Попова Н. В., Мисюра Т. Г., Запарожець, В. Є – № а 2012 08141; заявл. 03.07.12; опубл. 25.11.13, Бюл. №22

38. Пат. 14515 України на корисну модель, МПК В01Д 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В. Л., Бодров В. С., Попова Н. В., Мисюра Т. Г. – № U 2005 11361; заявл. 30.11.05; опубл. 15.05.06, Бюл. №5

39. Пат. 3730 України, МПК В01Д 11/02. Вібраційний екстрактор / П. П. Лобода, В. Л. Зав'ялов – № 3783403/SU; заявл. 30.06.94; опубл. 30.12.94, Бюл. №4

40. Голямин И. П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / И. П. Голямин. – Москва: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.

41. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И. Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.

42. Получение сухого экстракта из корней девясила высокого и изучение его химического состава / [С. А. Матасова, Н. А. Митина, Г. Л. Рыжова та ін.]. // Химия растительного сырья. – 1999. – №2. – С. 119–123.

43. Wang L. 43. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants / L. Wang, C. Weller. // Trends in Food Science & Technology. – 2006. – №17. – С. 300–312.

44. Comparison of conventional and ultrasound-assisted extraction of carvone and limonene from caraway seeds / [S. Chemat, A. Lagha, H. AitAmar and all]. // Flavour and Fragrance Journa. – 2004. – №19. – С. 188–195.

45. Improving solvent-free extraction of policosanol from rice bran by high-intensity ultrasound treatment / G.Cravotto, A. Binello, G. Merizzi, M. Avogadro. // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2004. – №106. – С. 147–151.

46. Potential for the use of ultrasound in the extraction of antioxidants from *Rosmarinus officinalis* for the food and pharmaceutical industry. / [S. Albu, E. Joyce, L. Paniwnyk and all]. // Ultrasonics Sonochemistry. – 2004. – №11. – С. 261–265.

47. Rapid techniques for the extraction of vitamin E isomers from *Amaranthus caudatus* seeds: Ultrasonic and supercritical fluid extraction / [R. Bruni, A. Guerrini, S. Salia and all]. // Phytochemical Analysis. – 2002. – №12. – С. 257–261.

48. Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья / Г. В.Жматкова, А. Н. Нефёдов, А. С. Гордеев, А. Б. Килимник. // Вестник ТГТУ. – 2005. – С. 701–707.

49. Патент на корисну модель МПК (2017.01), В01D 11/02. Вібраційно-акустичний екстрактор / Мельник В.М., Андрук М.М., Ружинська Л.І. № u 2018 02722 – Заявл. 19.03.2018.

50. Патент на корисну модель МПК (2018.01) В01D 11/02 Циркуляційно-акустичний екстрактор / Мельник В.М., Ружинська Л.І., Остапенко Ж.І. № u201807271\_2 – Заявл. 27.06.2018

51. Паспорт. Погружной блок ультразвуковых випромінювачів УЗП-6-1. ООО «НБК Медпромприбор».

52. Павлюк І. В. Екстагування шроту рослинної сировини з метою одержання комплексу біологічно активних сполук : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.17.08 "Процеси та обладнання хімічної технології" / Павлюк Інесса Віталіївна – Львів, 2016. – 23 с.
53. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. в 2-х частях / Ю. И. Дытнерский. – М.: Химия, 1995.
54. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. / –М.: Химия, 1981. –811 с.
55. Оборудование перерабатывающих производств. Растительное сырье / А. А.Курочкин, Г. В. Шабурова, С. В. Байкин, О. Н. Кухарев. – Москва: Издательство Юрайт, 2018. – 446 с. – (2-е изд.)
56. ГОСТ 5632–72. Стали высоколегированные и сплавы жаростойкие коррозионностойкие, и жаропрочные. Марки.
57. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали.
58. ГОСТ 10007-80. Фторопласт-4. Технические условия
59. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, В. Н. Носков. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
60. Рид Р. Свойства газов и жидкостей. Справочное пособие / Д. Праусниц, Т. Шервуд, перевод с англ.-Л.: Химия, 1982. – 592 с.
61. Харченко Г. М. Физико-химические свойства растительных масел / Г. М. Харченко. // Вестник алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – №4. – С. 54–56.
62. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
63. ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования
64. Барвін О. І. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання: навч. посібник / О. І. Барвін, І. М. Генекіна, В. В.

Іванченко. – Луганськ: Східноукраїнський університет імені Володимира Даля, 2007. – 306 с.

65. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов в 2-х книгах: часть 2. Массообменные процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. – М.: Химия, 2002. – 400 с. – (3).

66. Коптева В.Б. Фланцевые соединения: конструкции, размеры, расчёт на прочность: методические указания / В.Б. Коптева, А.А. Коптев. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 24 с.

67. Вязлов, Р.Й. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості / Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новіков — Львів: «Інтелект-Захід», 2008. — 736 с.

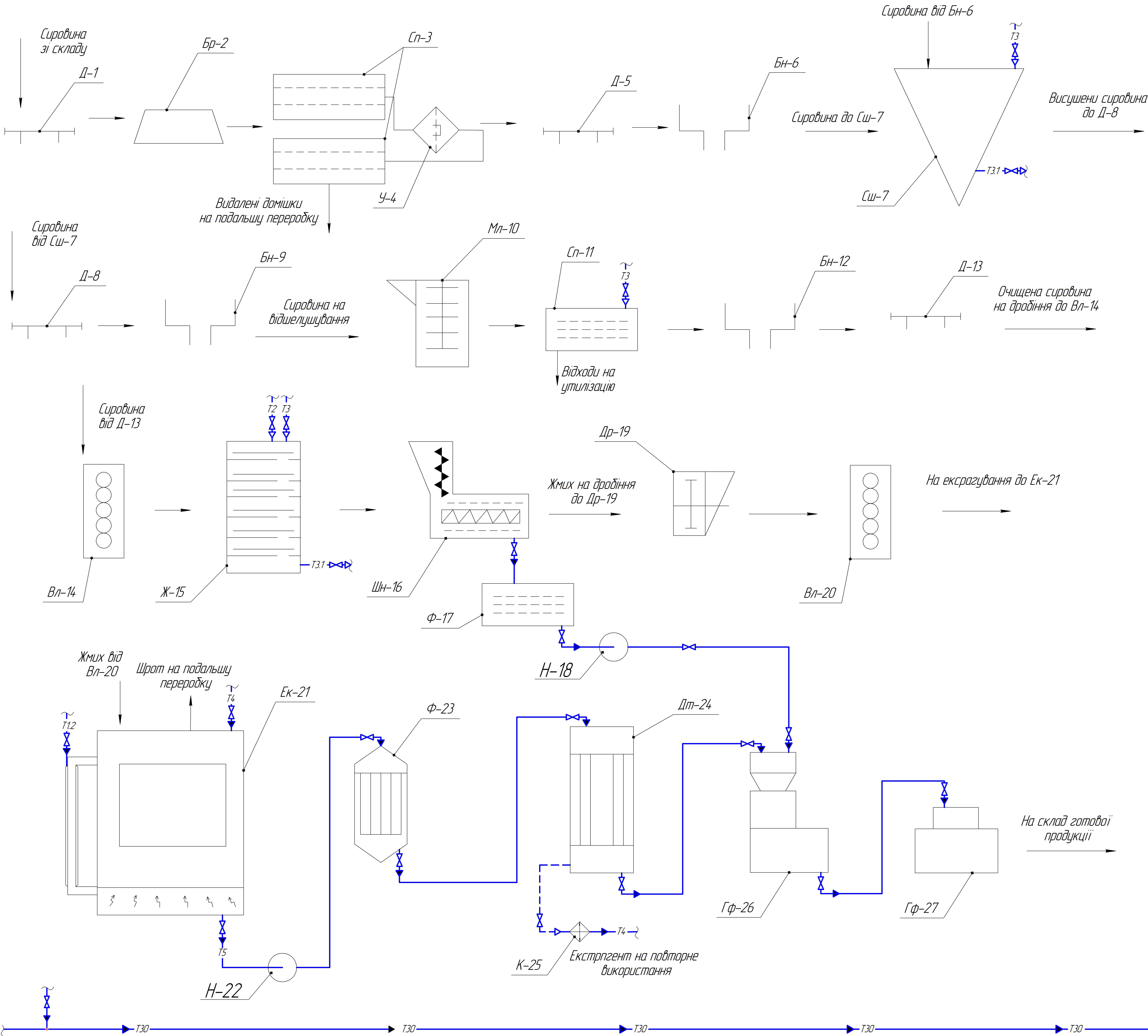
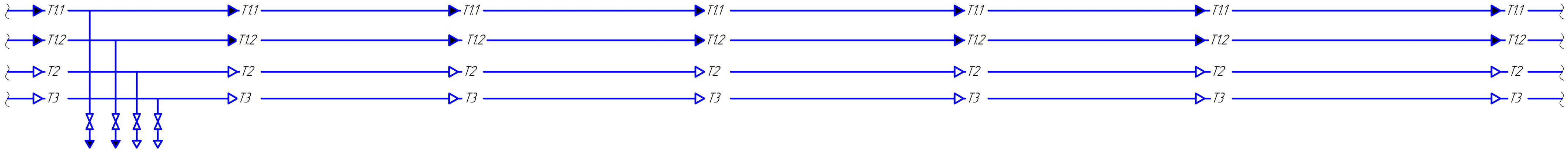
68. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л.Л., Процессы и аппараты химической технологии. Учебник в 2-х ч. [Текст] / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, В. А. Лещенко, А. П. Готлинская. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. — 146 с.

69. Бельбас, І.В. Монтаж, діагностика та ремонт обладнання. Навчальний посібник [Текст] / І.В. Бельбас – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2009. — 248 с.

70. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

71. Наказ №245 05.09.2008 Положення про порядок організації наукових досліджень і прикладних розробок у сфері державної служби та її адаптації до стандартів Європейського Союзу





Таблиця апаратів

Поз	Найменування	Кільк.	Примітка
Д-1, Д-5, Д-8, Д-13	Дозатор ваговий	4	
Бр-2	Брут	1	
Сп-3	Сепаратор ситовий	2	
У-4	Магнітний уловлювач	1	
Б-6, Б-9, Б-12	Бункер	3	
Сш-7	Сушарка шахтна	1	
Мл-10	Млин дисковий	1	
Сп-11	Сепаратор повітряно-ситовий	1	
Вл-14, Вл-20	Дробарка п'ятивальцова	2	
Ж-15	Жаровня	1	
Шн-16	Прес шнековий	1	
Ф-17	Фільтр-прес	1	
Н-18, Н-22	Насос	2	
Др-19	Дробарка молоткова	1	
Ек-21	Екстрактор акустичний	1	
Ф-23	Фільтр патронний	1	
Дт-24	Дистиллятор	1	
К-25	Конденсатор	1	
Гф-26, Гф-27	Автомат для пакування	2	

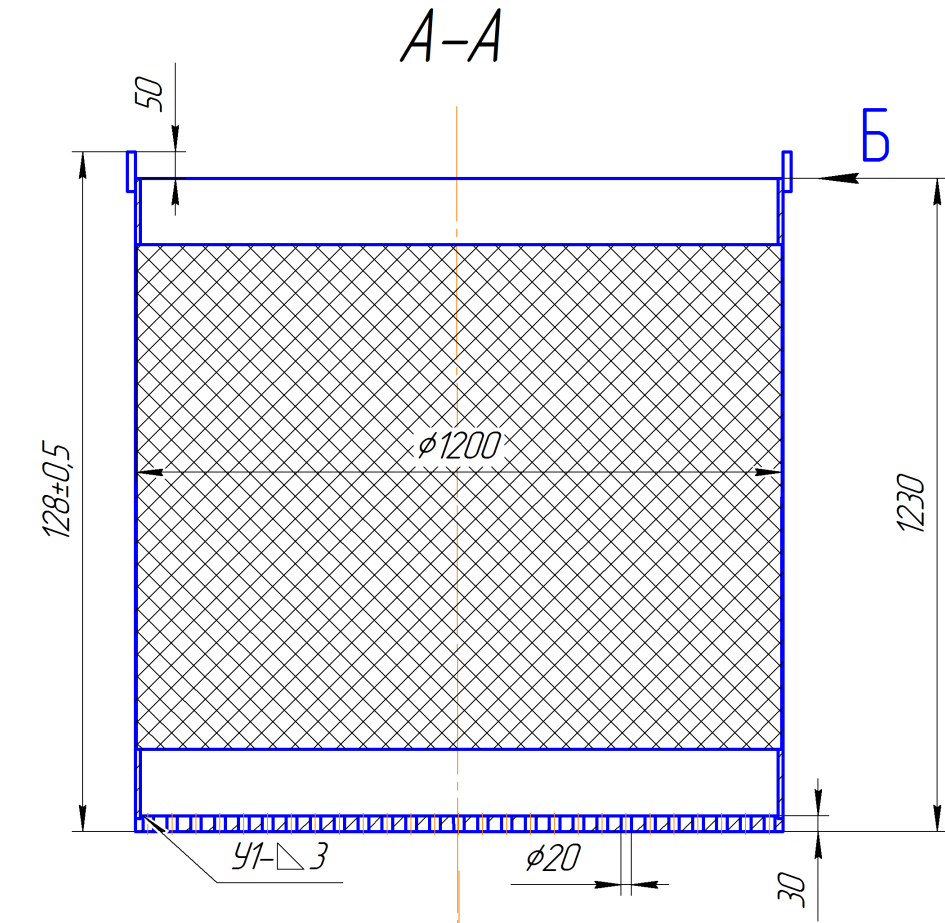
Таблиця трубопроводів

Умовні позначення		Найменування середовища у трубопроводі
Літерне	Графічне	
T12		Вода гаряча
T2		Пара
T3		Повітря стиснуте
T3.1		Пневмопровод
T3.0		Січні води
T4		Екстракт
T5		Місцела

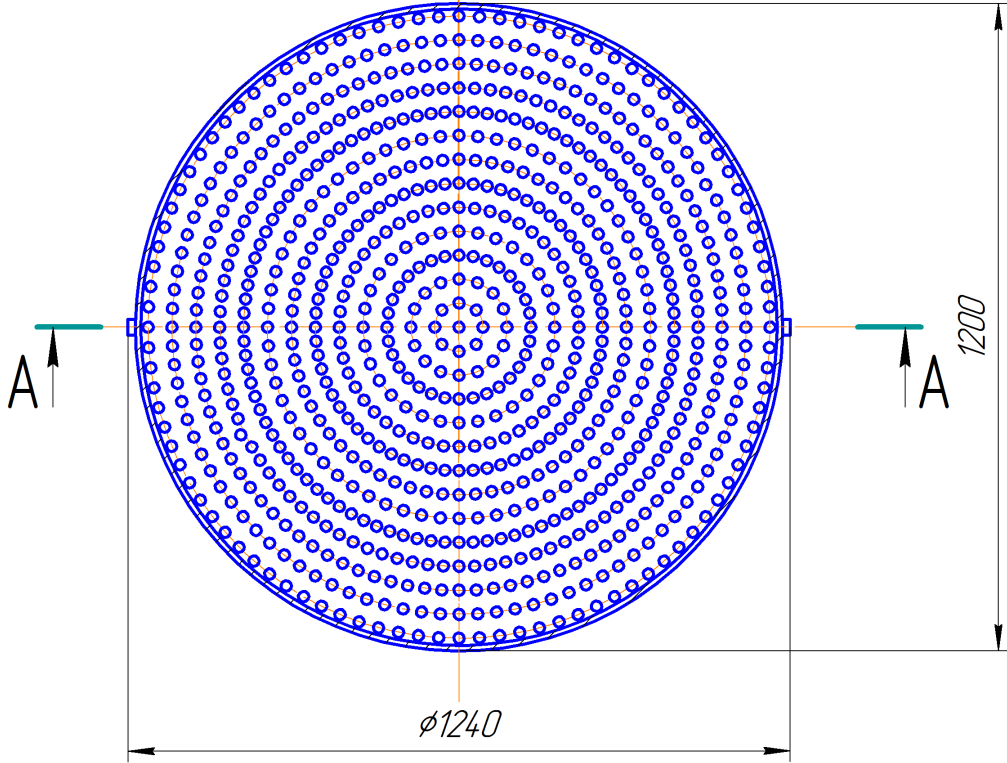
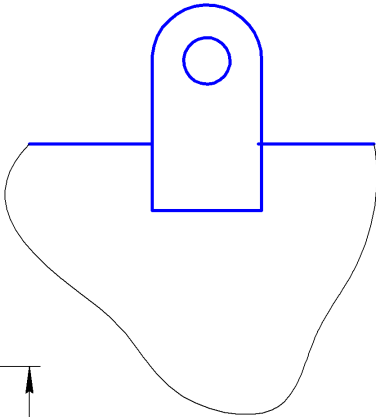
Б1-7101.7104.32.001-60				Лінійне виробництво сировини		
Лінійне виробництво сировини				Лінійне виробництво сировини		
Апаратурно-технологічна схема				Лінійне виробництво сировини		
Лінійне виробництво сировини				Лінійне виробництво сировини		
Лінійне виробництво сировини				Лінійне виробництво сировини		
Лінійне виробництво сировини				Лінійне виробництво сировини		
Лінійне виробництво сировини				Лінійне виробництво сировини		
Лінійне виробництво сировини				Лінійне виробництво сировини		
Лінійне виробництво сировини				Лінійне виробництво сировини		
Лінійне виробництво сировини				Лінійне виробництво сировини		



Перв. примен.	Спроб. №	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № подл.



**Б (1:2)**



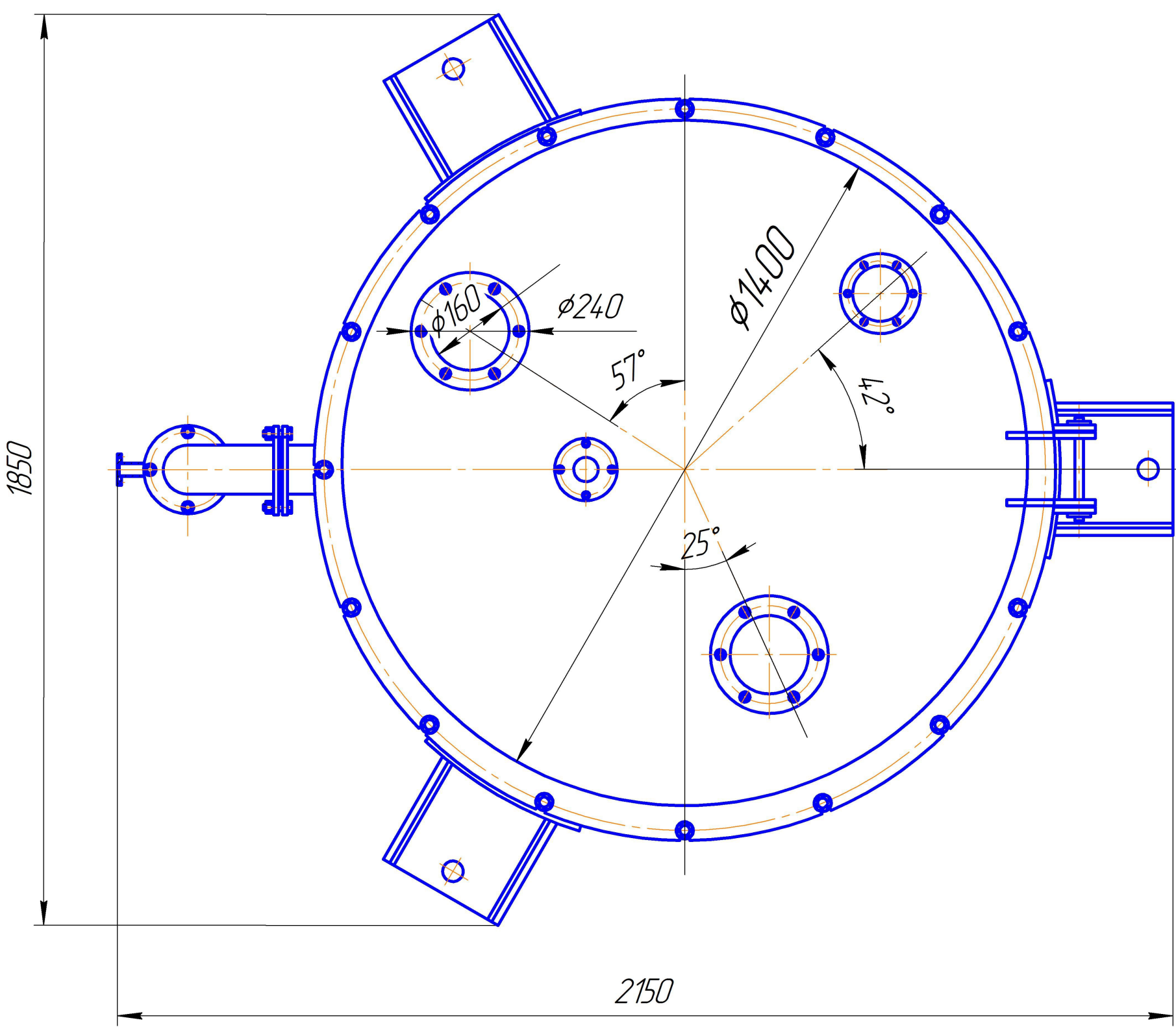
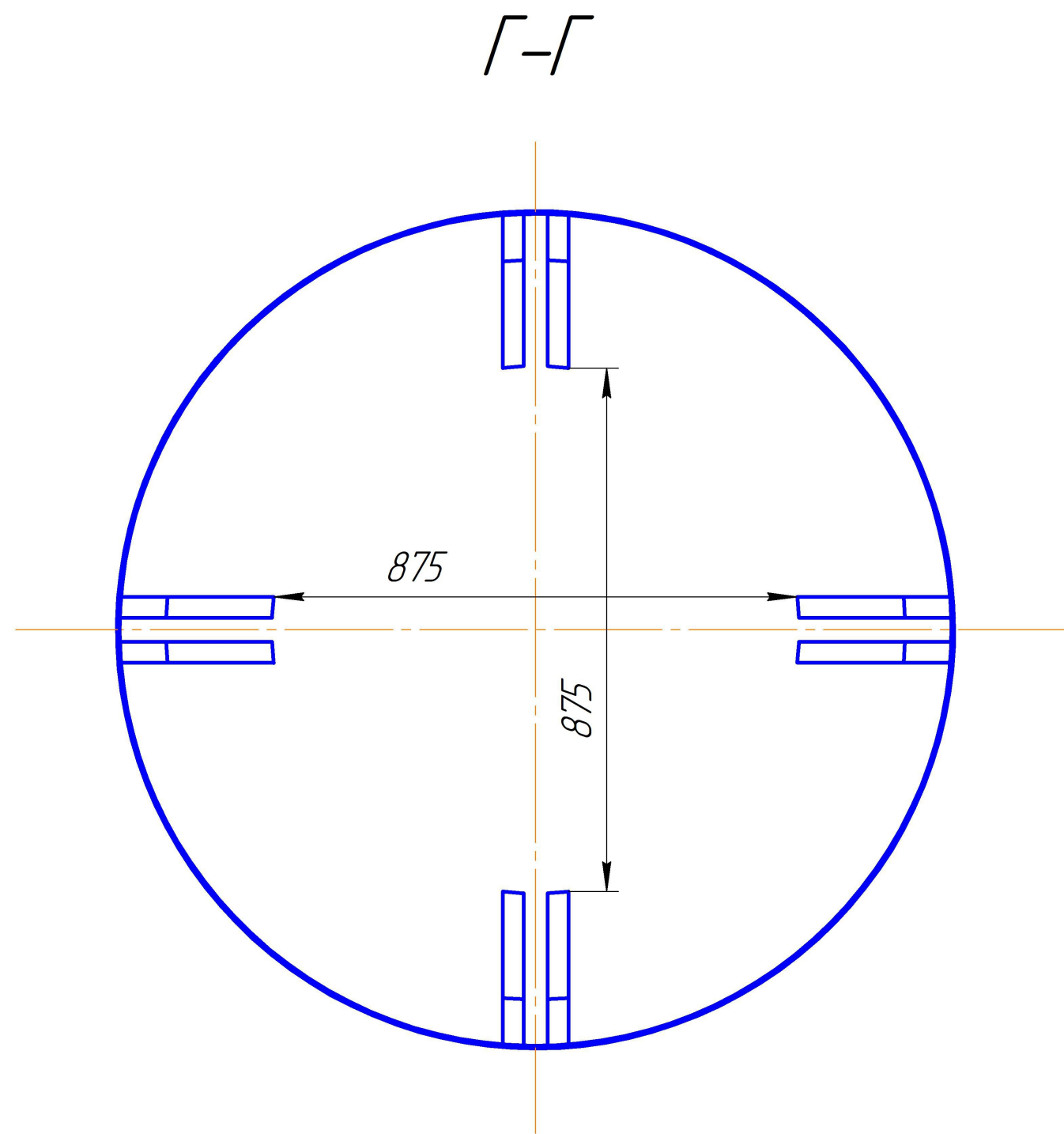
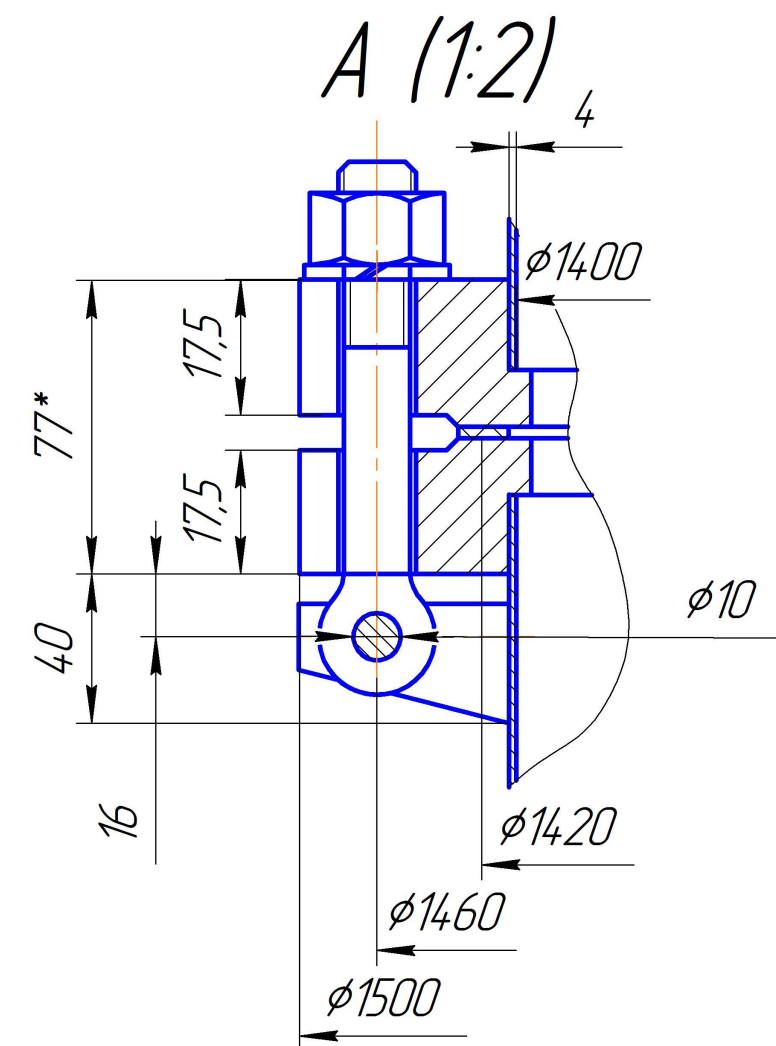
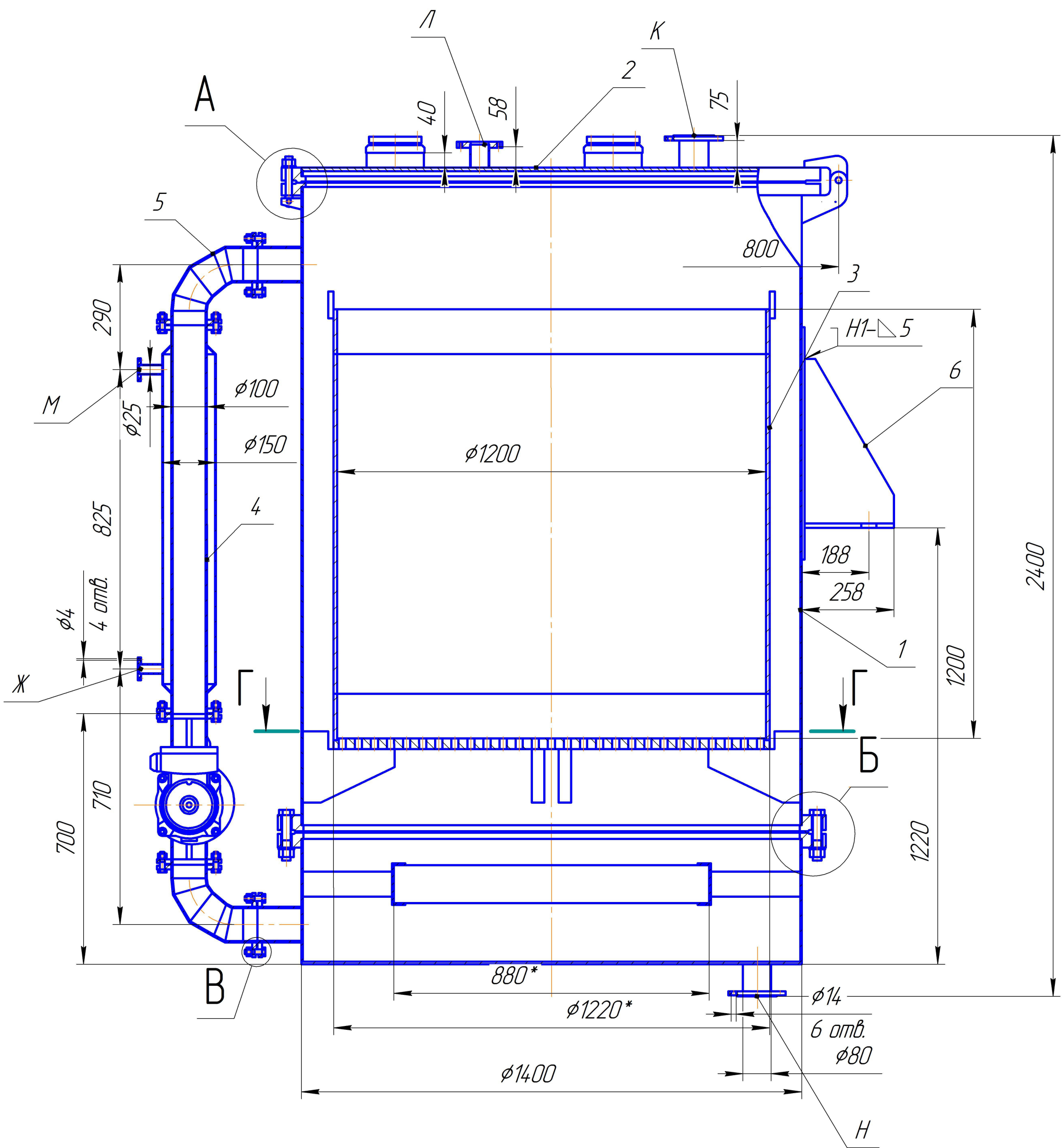
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Остапенко Ж.І.			
Пров.	Карачун В.В.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Б1-7101.710432.005-60

**Корзина**

Лист	Масса	Масштаб
1		1:10
Лист	Листов	1
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, Б1-71мн		





Таблиця штуцерів

Позначення	Найменування	Кіл.	Д <sub>ц</sub>	Р <sub>ц</sub>	Примітка
Ж	Вхід охолоджуючої води	1	50	0,1	
К	Вхід екстрагента	1	100	0,2	
Л	Технологічний	1	75	0,1	
М	Вихід охолоджуючої води	1	50	0,1	
Н	Вихід продукту	1	100	0,1	

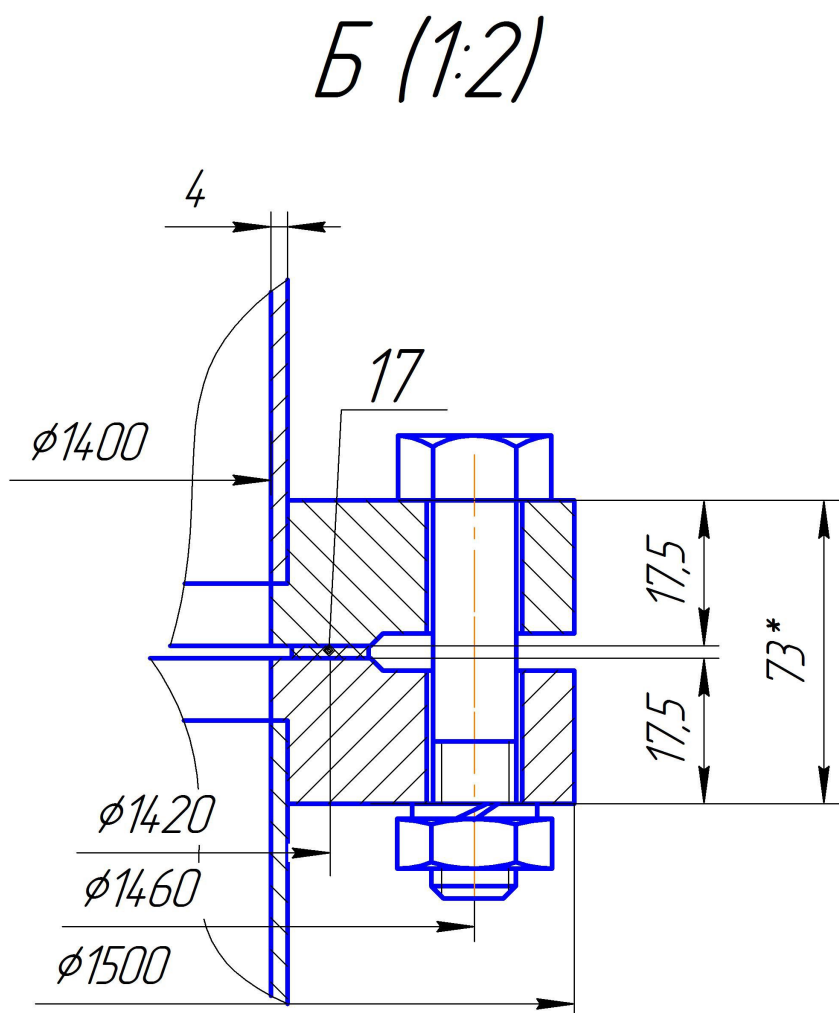
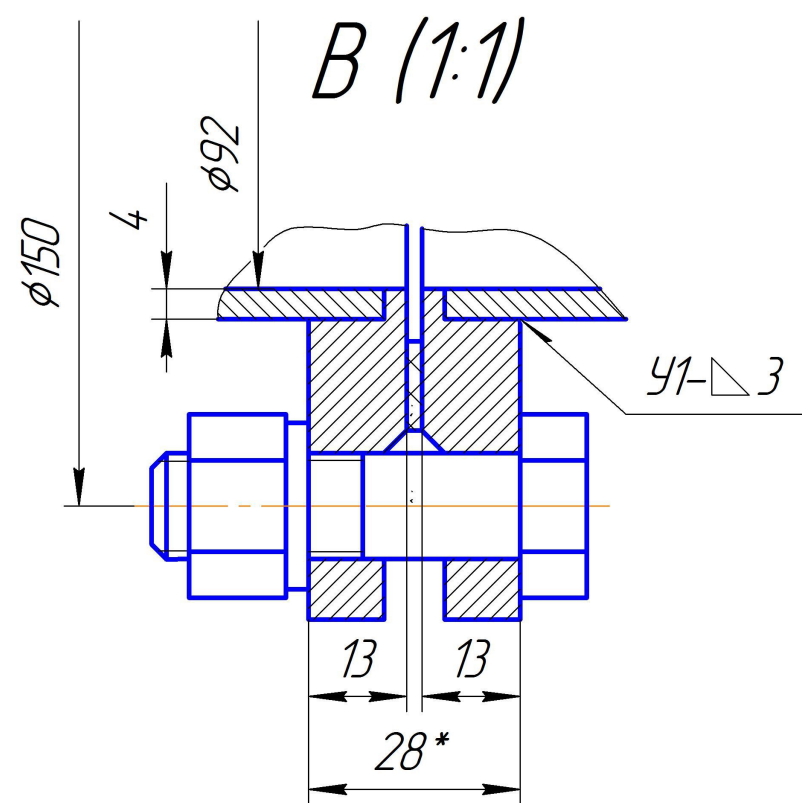
Технічна характеристика

- Апарат призначений для екстракції олії.
1. Номінальний об'єм апарату, м<sup>3</sup> 4;
2. Площа поверхні теплообміну сарочки, м<sup>2</sup> 0,3;
3. Робочий тиск, МПа в корпусі 0,2;
4. Температура середовища, °C  
робоча 25;  
максимальна 30;
- Середовище в апараті не агресивне, токсичне, вибухонебезпечне.
5. Маса апарату, кг 1000;
6. Габаритні розміри, мм  
довжина 1850;  
ширина 2150;  
висота 2400.

Технічні вимоги

1. Середовище в апараті і сарочці не агресивне, не токсичне, не корозійне і не вибухонебезпечне.
2. Апарат випробувати на міцність та щільність випробним тиском 0,35 МПа ГОСТ 356-80 "Давления условные пробные и рабочие".
3. Зварні шви виконати за ГОСТ 5264-80.

Розміри для довідок крім позначених \*



				Б1-7101.7104.32.002-60 СБ				
Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Екстрактатор акустичний Складальне креслення	Лист	Маса	Масштаб	
Розроб.	Остапенко ХІ					1000	1:10	
Проб.	Карачун В.В.							
Т.контр.					Лист	Листов	1	
Н.контр.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, Б1-71мн				
Уніт.								



Код документа			Наименование			Кол.	Примечание
			Документация				
			Экстракция олиі з рослинної сировини в умовах ультразвуку				
			Пояснювальна записка			1	152
			Креслення				
A1			2	БІ7101.710432.001-60 АС	Лінія виробництва своєї олиі.		
				Апаратурно-технологічна схема		1	
A1			3	БІ7101.710432.002-60 СБ	Екстрактор акустичний.		
				Складальне креслення		1	
A2			4	БІ7101.710432.003-60 СБ	Корпус.		
				Складальне креслення		1	
A2			5	БІ7101.710432.004-60 СБ	Кришка.		
				Складальне креслення		1	
A2			6	БІ7101.710432.005-60 СБ	Днище.		
				Складальне креслення		1	
A2			7	БІ7101.710432.006-60 СБ	Корзина.		
				Складальне креслення		1	
A1			8		Плакат №1	1	
A1			9		Плакат №2	1	
A1			10		Плакат №3	1	
A1			11		Плакат №4	1	
A1			12		Плакат №5	1	
			БІ-7101.710432.000-60				
			Відомість магістерської дисертації			Літ.	Аркш.
						1	1
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БІ-71мн	

# ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

[illegible]